

Erosão Hídrica de Solos

Caso de Estudo do Concelho de Tarouca

Bruno Miguel do Carmo Santana Meneses

Dissertação de Mestrado em Gestão do Território

**Área de Especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação
Geográfica**

Setembro, 2011

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão do Território, área de especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Maria José Roxo.

Declaro que esta Dissertação se encontra em condições de ser apreciada pelo júri a designar.

O candidato,

Lisboa, 30 de Setembro de 2011

Declaro que esta Dissertação se encontra em condições de ser apreciada pelo júri a designar.

O orientador,

Lisboa, 30 de Setembro de 2011

Aos meus Pais

Rosa Meneses e Agostinho Meneses

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os que contribuíram de forma directa e indirecta para a realização desta dissertação.

Em primeiro lugar agradeço à minha orientadora, pela sua simpatia e amabilidade com que me recebeu e por todas as indicações e sugestões que foi dando ao longo da elaboração desta dissertação. Agradeço, também, a explicação pormenorizada dos vários trabalhos realizados em laboratório e a monitorização dos mesmos. O diálogo mantido no decorrer desta investigação e o debate de vários aspectos que se prendem com a temática em análise despertou em mim um gosto cada vez mais incessante pela Geomorfologia, já manifestado ao longo da Licenciatura de Geografia, na variante Física.

Aos meus familiares, agradeço o apoio incondicional, sem o qual não teria sido possível continuar o meu trabalho. Agradeço em particular aos meus pais, o gosto que me foram inculcando ao longo da minha vida por todas as questões relacionadas com o solo e todo o conhecimento que me transmitiram, derivado do seu senso comum. Agradeço, ainda, as medições diárias da pluviosidade no pluviómetro instalado no campo e o supervisionamento dos vários indicadores aqui instalados para a monitorização da erosão hídrica.

Ao meu colega e amigo Luís Faria, agradeço toda a sua disponibilidade e prontidão para o acompanhamento dos vários trabalhos, tanto em campo, como em gabinete. Agradeço ainda a sua correcção meticulosa da dissertação e as várias sugestões.

Agradeço à Câmara Municipal de Tarouca toda a informação disponibilizada e o interesse manifestado no desenvolvimento desta dissertação na sua área administrativa. Em particular, ao Dr. Humberto Sarmento, Comandante Operacional Municipal da Protecção Civil de Tarouca, pela amabilidade com que me recebeu.

Agradeço à Rita Azevedo a sua disponibilidade e a preciosa ajuda na tradução de texto.

Agradeço aos meus amigos e colegas que se preocuparam com o estado da investigação e o apoio encorajador para atingir os objectivos a que me propus.

Em especial à Mara Rocha, agradeço apoio e paciência nas horas mais difíceis, mas sobretudo pelas ideias que me foi sugerindo no desenrolar da dissertação. Agradeço, ainda, a sua companhia nas várias visitas ao campo e a sua ajuda na recolha de amostras de solo. A força e coragem que me transmitiu nas horas de maior tensão foram essenciais para o prosseguimento desta longa caminhada. Agradeço, ainda, a correcção final da redacção da dissertação.

Assim, expresso aqui o meu muito obrigado a todos.

RESUMO

EROSÃO HÍDRICA DE SOLOS CASO DE ESTUDO DO CONCELHO DE TAROUCA

BRUNO MENESES

PALAVRAS-CHAVE: Erosão hídrica, EUPS, Detecção Remota, SIG, Concelho de Tarouca.

A determinação de áreas susceptíveis à erosão hídrica é fundamental na tomada de decisões que envolvam actividades relacionadas com o uso do solo, nomeadamente actividades agrícolas. Estas decisões passam por medidas que podem ser preventivas, no sentido de se evitar a perda de solo através da implementação de medidas futuras, ou reactivas quando se obtém a perda de solo real, resultados que permitem a actuação imediata sobre o território na minimização dessa perda. Esta avaliação deve contemplar todos os factores que intervêm neste processo (e.g. características do solo, precipitação, uso e coberto do solo).

Sendo o Concelho de Tarouca (área de estudo) uma área com elevada dependência agrícola, é fundamental a preservação do solo, evidenciando-se aqui, o reconhecimento das áreas mais susceptíveis à erosão hídrica. Neste sentido, recorreu-se à Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) para determinar a erosão potencial e real nesta área, sendo necessário nestes procedimentos, o recurso à Detecção Remota (DR) e aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), por um lado na determinação da ocupação do solo a partir de imagens de satélite e, por outro, no cálculo de todos os factores considerados pela Equação. Das imagens de satélite obteve-se, essencialmente, índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI), informação utilizada como complemento da cartografia de ocupação do solo disponível. Analisaram-se dados de precipitação das estações meteorológicas localizadas na área de estudo e no seu redor, na percepção da sua distribuição temporal e espacial. Parte destes dados integraram a avaliação da erosão através da EUPS. Os resultados aqui obtidos permitiram aferir as áreas mais susceptíveis à erosão hídrica, destacando-se a influência de vários factores, como o relevo, precipitação, características químicas e físicas do solo, o seu coberto e práticas nele desenvolvidas, na variação da distribuição da erosão potencial e real. Parte destes resultados foram comparados com dados de erosão hídrica obtidos a partir da monitorização pontual em solos de duas vertentes com diferentes exposições e diferentes tipos de usos e ocupação no concelho. Este último procedimento foi sustentado na observação de sedimentos removidos ou acumulados junto de estacas graduadas colocadas estrategicamente no solo e, também, por quadrados pintados no mesmo. Nesta área mediu-se a precipitação diária através de um pluviómetro aqui instalado de forma a perceber os resultados de erosão obtidos durante o período de monitorização, chegando-se à conclusão que nas áreas agrícolas a erosão hídrica é superior à das áreas sem intervenção antrópica, verificando-se aqui a importância da vegetação na redução deste processo.

ABSTRACT

SOIL EROSION BY WATER TAROUCA COUNTY CASE STUDY

BRUNO MENESES

KEY WORDS: Erosion by water, USLE, Remote Sensing, GIS, Tarouca County.

Determining susceptible areas to soil erosion by water is fundamental when taking decisions related to soil use, especially agricultural activities. These decisions can be taken based on preventive measures, with the intent of avoiding future soil loss, or on reactive ones, when real soil has already been lost and immediate intervention in the territory is needed to minimize the loss. This assessment should include all intervening factors in the process (e.g. soil properties, precipitation, use and ground cover).

Being Tarouca County (study area) a highly dependent area on farming, soil preservation is extremely important and thus recognizing areas which are most susceptible to soil erosion by water. With that goal in mind, the Universal Soil Loss Equation (USLE) was used to determine potential and real erosion by water in this area and Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) were used to determine soil occupation through satellite images and to calculate all the equation factors. The satellite images provided essentially Normalized Difference Vegetation Indexes (NDVI), which were then used to complement the already available soil occupation cartography. Precipitation data of weather stations located inside and around the study area were analyzed taking into account time and space variations. Part of the data was included in the erosion assessment through the USLE. The results obtained allowed to point out areas more susceptible to soil erosion by water, being the most influential factors in the distribution variation of potential and real erosion the relief, precipitation, physic-chemical properties of the soil, groundcover and developed activities on it. Part of the results was compared to data regarding soil erosion by water, obtained through punctual monitoring in two watersheds with different expositions, types of use and occupation within the county. This last procedure was sustained by the observation of removed or accumulated sediment which were beside graduation sticks strategically inserted in the soil and also by drawn squares on the soil. In this area daily precipitation was measured through an installed rain gauge in order to understand the erosion results obtained during the monitoring period. The results led to the conclusion that soil erosion by water is higher in farming areas than in areas without human intervention, showing how important vegetation is in reducing this type of erosion.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE.....	VII
ABREVIATURAS.....	XI
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 - EROSÃO HÍDRICA DO SOLO	5
1. 1. O solo e a sua degradação.....	5
1. 2. Erosão do solo.....	8
1. 2. 1. Erosão hídrica	8
1. 3. Integração dos Sistemas de Informação Geográfica e da Detecção Remota na determinação de áreas de solos degradados	13
CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA	17
2. 1. Técnicas utilizadas na avaliação da erosão hídrica e na recolha de dados	17
2. 2. Recolha de informação em formato vectorial para a elaboração do Modelo Numérico de Elevação	18
2. 3. Determinação do índice de vegetação	19
2. 4. A Equação Universal da Perda de Solo	20
2. 4. 1. Factor erosividade (R)	21
2. 4. 2. Factor erodibilidade (K)	23
2. 4. 3. Factor topográfico (LS).....	27

2. 4. 4. Factor coberto do solo (C)	29
2. 4. 5. Factor prática agrícola (P)	31
2. 5. Monitorização pontual da erosão hídrica numa área do Concelho de Tarouca com diferentes tipos de ocupação e uso do solo	33
2. 5. 1. Através de quadrados pintados no solo	34
2. 5. 2. Através de estacas graduadas colocadas no solo	35
2. 5. 3. Análise das características físicas do solo	36
CAPÍTULO 3 - CONCELHO DE TAROUCA	37
3. 1. Localização geográfica	37
3. 2. Aspectos físicos do território	38
3. 3. Os solos	44
3. 3. 1. Ocupação do solo	46
3. 4. Aspectos climáticos – Regime pluviométrico	49
CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DA EROÇÃO HÍDRICA POTENCIAL E REAL NO CONCELHO DE TAROUCA	57
4. 1. Variação da cobertura vegetal nas últimas décadas	57
4. 2. Aplicação da EUPS no Concelho de Tarouca	60
4. 2. 1. Factor erosividade (R)	60
4. 2. 2. Factor erodibilidade (K)	62
4. 2. 3. Factor topográfico (LS)	66
4. 2. 4. Factor coberto do solo (C)	67
4. 2. 5. Factor prática agrícola (P)	69
4. 3. Erosão Hídrica Potencial	71
4. 4. Erosão Hídrica Real	73

CAPÍTULO 5 - MONITORIZAÇÃO DA EROÇÃO HÍDRICA E A EUPS NO CONCELHO EM ESTUDO	77
5. 1. A precipitação e a erosão hídrica determinada por observação de quadrados pintados e estacas graduadas colocados no solo	77
5. 1. 1. Pela observação de quadrados pintados no solo	81
5. 1. 2. Pela observação de estacas graduadas colocadas no solo	83
5. 2. Comparação entre os resultados de erosão potencial e real obtidos pela EUPS com a erosão verificada junto das estacas	88
 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 93
 BIBLIOGRAFIA	 97
 DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS	 107
 OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	 109
 LISTA DE FIGURAS	 111
 LISTA DE QUADROS	 115
 ANEXOS	 117

ABREVIATURAS

ANF	Autoridade Nacional Florestal
CAOP	Carta Administrativa Oficial de Portugal
CLC	CORINE Land Cover
CMT	Câmara Municipal de Tarouca
CPS	Coeficiente de produção de sedimentos
DR	Detecção Remota
E	Este
EUPS	Equação Universal da Perda de Solo
GPS	Global Positioning System
IGeoE	Instituto Geográfico do Exército
IGP	Instituto Geográfico Português
IM	Instituto de Meteorologia
km	Quilómetro
km²	Quilómetro quadrado
m²	Metro quadrado
mm	Milímetro
MNE	Modelo Numérico de Elevação
MNP	Modelo Numérico de Precipitação
MO	Matéria orgânica
MUSLE	Modified Universal Soil Loss Equation
N	Norte
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NE	Nordeste
NW	Noroeste
pH	Medida da concentração de iões de hidrogénio numa solução.
PSed	Perda de sedimentos
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
S	Sul
SE	Sudeste
SHP	Shape File
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SNIG	Sistema Nacional de Informação Geográfica

SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SW	Sudoeste
USGS	United States Geological Survey
USLE	Universal Soil Loss Equation
W	Oeste
ZCI	Zona Centro Ibérica

INTRODUÇÃO

Os solos são um recurso fundamental para a Humanidade, pois “... *são o principal sistema de suporte da vida e do bem-estar humano. Fornecem o substrato para as raízes, retêm água o tempo suficiente para esta ser utilizada pelas plantas e fixam nutrientes essenciais para a vida ...*” (BRILHA e SÁ, 2007, p.2). A sua degradação, considerada por WASSON (1987), como a perda de utilidade para os seres vivos, devido à sua modificação, assume-se como um verdadeiro problema da actualidade, com grandes impactos económicos e sociais, que se traduzem no condicionamento do desenvolvimento dos países (LAL, 1998).

Derivado à constante modificação da cobertura do solo e, também, a algumas acções antrópicas nele desenvolvidas, tem-se assistido à degradação de muitos solos, alguns deles essenciais para a prática da agricultura. Após a percepção das consequências resultantes deste grande problema tem-se actuado na tentativa de minimizar os impactos destas actividades, optando-se pela sustentabilidade.

A grande preocupação na preservação do solo surgiu depois da tomada de consciência da sua importância, principalmente, depois das iniciativas de conservação realizadas nos EUA (início do século XX), quando se depararam com graves problemas de erosão e degradação, causada pelas actividades agrícolas neles desenvolvidas, um “movimento” que se estendeu à Europa (ROXO, 2001; CT DEP, 2002). Em Portugal estes problemas também se sentiram, levando ao desenvolvimento de uma série de trabalhos de investigação e, também, à construção de centros experimentais. Estes surgem depois da percepção de alguns acerca da importância que este recurso tem na economia deste país e no bem-estar da população em geral. A preservação deste recurso não é uma preocupação recente, pois já no final da década de 50 (século XX), com os impactos negativos (entenda-se solos degradados) resultantes das várias campanhas de produção de cereal levadas a cabo pelo Estado Novo, deu origem ao *Plano de Defesa e Conservação do Solo*, uma medida tomada pelas entidades governamentais desta altura (BATEIRA *et al.*, 2001; ROXO, 2001) na tentativa de travar este problema, no qual se insere as perdas de solo por erosão hídrica. Actualmente,

“...cerca de 68% dos solos nacionais estão ameaçados pela erosão e 30% encontram-se em processo acelerado de desertificação, particularmente nas regiões do Alentejo, Algarve, Beira Interior e Trás-os-Montes...” (FLORESTAR, 2007, p.18).

Tendo por base a importância do solo, pretende-se nesta dissertação aplicar algumas técnicas de determinação de áreas onde os solos estão mais susceptíveis à erosão hídrica. Para esta determinação recorreu-se à *Universal Soil Loss Equation* (USLE), traduzida por Equação Universal da Perda de Solo (EUPS), fazendo-se nesta algumas modificações dos parâmetros que a compõem, face à informação disponível e local de aplicação.

Outro objectivo será a monitorização de áreas com diferentes ocupações e usos do solo durante a fase de realização desta dissertação (período experimental) para posterior comparação com os resultados obtidos a partir da EUPS. Na concretização destes objectivos recorreu-se aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e à Detecção Remota (DR), para o tratamento e análise da informação espacial georreferenciada e, também, para a obtenção de nova informação, além da respectiva representação espacial dos resultados obtidos a partir da EUPS.

O Concelho de Tarouca foi a área onde se aplicaram as metodologias anteriormente referidas (área de estudo), no qual se determinou as áreas susceptíveis à erosão hídrica do solo. Sendo a agricultura uma actividade com elevada expressão, dentro das principais actividades aqui desenvolvidas, a preservação do solo assume elevada importância no seu desenvolvimento. Desta premissa surge a necessidade de criação ou adaptação de medidas na preservação deste recurso.

Assim, surgem as seguintes questões às quais se tentará responder no desenvolvimento desta dissertação:

1. A utilização dos SIG é importante na determinação da erosão hídrica?

2. Qual o contributo da DR para a avaliação espacial de áreas sujeitas a estes processos erosivos? Neste contexto, quais as vantagens e desvantagens da utilização desta ferramenta?
3. Quais as áreas do Concelho de Tarouca mais susceptíveis à erosão hídrica?
4. Em que áreas deste Concelho o índice de erosão hídrica real é elevado?
5. Existe alguma relação entre o uso e ocupação do solo com a erosão hídrica?

Definida a problemática faz-se uma breve descrição de todos os capítulos que compõem esta dissertação.

No capítulo 1 aborda-se ao actual estado de arte da temática desenvolvida, começando pela definição de solo e as várias formas de degradação do mesmo; descrição do conceito erosão, com destaque para a erosão hídrica, referindo as principais formas resultantes destes processos e a problemática existente na sua definição e, por último, o contributo dos SIG e da DR para a determinação de áreas de solos degradados.

No capítulo 2 descreve-se toda a metodologia utilizada nesta investigação. Em primeiro lugar descreve-se a recolha de informação e como se obteve informação complementar para a modelação digital do terreno. Em seguida, apresenta-se as várias técnicas utilizadas para a recolha de informação da ocupação do solo por imagens de satélite e o seu tratamento de forma a obter índices de vegetação. Segue-se a apresentação da metodologia EUPS para a avaliação de áreas susceptíveis à erosão hídrica (erosão potencial) e a determinação da erosão real ou específica, abordando-se, também, os métodos utilizados na determinação de todos os factores considerados por este modelo. Para comparação dos resultados derivados do modelo EUPS, utilizaram-se várias técnicas de monitorização da erosão hídrica (quadrados pintados e estacas graduadas) numa área específica do local de estudo, metodologia descrita neste capítulo.

No capítulo 3 faz-se o enquadramento da área de estudo. No primeiro ponto apresenta-se o enquadramento administrativo do Concelho de Tarouca, seguindo-se o enquadramento geológico e geomorfológico, a descrição dos solos desta área e a

respectiva ocupação. Por fim, faz-se o enquadramento climático, descrevendo-se com maior detalhe a distribuição da precipitação ao nível espacial e temporal.

No capítulo 4 apresenta-se os resultados obtidos na avaliação da erosão hídrica potencial e real no Concelho de Tarouca e faz-se a sua discussão. Numa primeira abordagem avalia-se a variação da vegetação nas últimas décadas e as consequências resultantes dos incêndios florestais, observadas *in loco*. Em seguida apresenta-se os resultados obtidos na determinação de cada factor que compõe a EUPS e a tradução espacial da erosão real e potencial derivada da sua combinação.

Já no capítulo 5, são apresentados os resultados obtidos pela monitorização pontual da erosão hídrica por quadrados pintados no solo e pelas estacas colocadas estrategicamente numa área específica do concelho. Neste capítulo faz-se, também, uma comparação entre estes dados observados e os resultados obtidos pela EUPS (erosão hídrica potencial e erosão hídrica real).

Por fim, apresenta-se as principais considerações finais, onde se responde às perguntas colocadas inicialmente.

CAPÍTULO 1 - EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

1. 1. O SOLO E A SUA DEGRADAÇÃO

O solo é um dos recursos mais importantes da Biosfera e do Património Natural para toda a Humanidade. Este é definido por JENNY (1994) como um corpo natural, com diferentes horizontes de minerais e constituintes orgânicos, geralmente não consolidados, de profundidade variável, que difere do material de origem, nomeadamente, a morfologia, constituição (propriedades físicas), composição (propriedades químicas) e características biológicas. Não sendo esta uma definição universal, existem outros conceitos como por exemplo, o “...conjunto natural de partículas minerais que podem ser separadas por agitação na água...”, onde os vazios existentes entre si, segundo este autor, estão preenchidos por ar e água, separada ou conjuntamente (NASCIMENTO, 1974, p.5); a dinâmica de um corpo natural composto por matéria orgânica, minerais, gases, líquidos e, também, organismos vivos (BRADY e WEIL, 2008), ou a camada superior da Terra, situada entre a rocha-mãe e a superfície, composta pelos mesmos elementos da definição anterior (CEU, 2009). A sua degradação é considerada como um dos maiores problemas ambientais, visto não ser renovável à escala humana (ROXO, 1994; PEREIRA, 2002), onde a sua destruição pelos mais variados processos (físicos, químicos e biológicos) dá lugar ao empobrecimento dos ecossistemas, manifestando-se, sobretudo, na redução da produtividade e diversidade biológica (BERMÚDEZ *et al.*, 1993).

Na formação do solo são considerados vários factores como o clima, topografia, material de origem, organismos e tempo (JENNY, 1994). No primeiro factor, os elementos do clima (radiação solar, precipitação, vento) têm influência directa na pedogénese¹, como por exemplo, a destruição de iões H^+ pela promoção da reacção da hidrólise pela água da precipitação, do qual resultam alterações da estrutura mineral e, conseqüentemente, a sua destruição. Outra particularidade do clima é a influência

¹ Processo de formação do solo (CHESWORTH, 2008).

directa na quantidade e tipo de vegetação que se pode desenvolver numa dada área. Quanto à topografia, esta tem influência na escorrência superficial e na quantidade de água infiltrada, estando os declives acentuados associados a solos pouco profundos e vice-versa. Relativamente ao material de origem, este corresponde ao material geológico do qual o solo se origina. Já os organismos têm um papel fundamental na decomposição de restos animais e vegetais e na libertação de húmus, proporcionando a diferenciação dos horizontes. Estes organismos correspondem à macro e microflora e, também, à macro e microfauna. O factor tempo é importante na formação do solo, pois define a acção dos organismos e do clima sobre o material de origem, em determinadas condições topográficas.

Segundo BRINKMAN (1964) os sedimentos soltos à face da Terra, resultantes da meteorização das rochas, estabelecem os vegetais e os animais, e a concentração gradual dos seus restos vai dar origem ao que se entende por matéria orgânica (a de origem vegetal apresenta uma tonalidade escura e constitui o húmus). Para este autor, a mistura destes componentes orgânicos decompostos ou em decomposição, com os detritos de rochas e minerais, denomina-se por solo. Menciona que a formação de um determinado perfil de solo está dependente da deslocação das argilas, matéria orgânica, ferro, manganés, sílica, alumínio, sais alcalinos e alcalinos-terrosos, no qual se pode diferenciar o solo superficial (A), correspondente ao horizonte superior (contém húmus), o substrato inalterado (C) e, entre estes, pode haver um horizonte intermédio (B), denominado por subsolo. Do clima e dos vegetais que dele dependem resultam perfis diferenciados, resultando daí diferentes tipos de solo.

O solo é composto por horizontes (camadas horizontais), sendo a secção vertical denominada por perfil, de onde se pode ver a sequência dos mesmos (IDA, 1998; ARBESTAIN *et al.*, 2008). Cada horizonte é designado por uma letra e um número (sequência em profundidade), conforme a descrição do Quadro 1.1.

Tal como na definição de solo, também o conceito de degradação do solo não tem uma definição universal, ou seja, varia de autor para autor na abrangência de processos envolvidos e nos vários resultados provenientes destes. Por exemplo, KUIPERS (1980) considera que este processo é o resultado do desencadeamento de forças mecânicas, acção do movimento da água, da precipitação, evaporação,

congelamento/descongelamento da água no solo e, também, da acção das raízes das plantas, resultando, segundo este, diferentes tipos de degradação, em períodos diferenciados. KIMPE e WARKENTIN (1998) consideram que este corresponde à redução do funcionamento óptimo do solo nos ecossistemas. Já BONE *et al.* (2010) consideram-no como a mudança ou alteração da qualidade do solo, por perturbações naturais, antrópicas, ou ambas.

Quadro 1.1. Descrição dos horizontes do solo (adaptado de IDA, 1998).

Horizontes		Descrição
Perfil	O1	Detritos orgânicos decompostos
	O2	Detritos orgânicos não decompostos
	A1	Tonalidade escura com elevado teor de matéria escura
	A2	Tonalidade clara de máxima eluviação
	A3	Transição entre A e B (mais próxima de A)
	B1	Transição entre A e B (mais próxima de B)
	B2	Máxima acumulação de argila ou de expressão de cor e/ou estrutura em blocos ou prismática
	B3	Transição para C
	C1	Material intemperizado pouco afectado pelos processos de pedogénese
	C2	Horizonte em descontinuidade litológica apresentando gleização
	R	Rocha consolidada

Os vários tipos de degradação do solo podem ser encarados, por um lado pela redução da qualidade e, por outro, pela perda de quantidade. A degradação qualitativa deriva de vários factores como a redução dos nutrientes (factor que se manifesta, sobretudo, no desenvolvimento das plantas, como refere SHUKLA *et al.*, 2006), diminuição da fertilidade, poluição, entre outros (KARLENA *et al.*, 2003; FRANZLUEBBERS e HANEY, 2006); enquanto a degradação quantitativa corresponde à perda do solo por erosão, movimentos de massa, entre outros (OLDEN, 1998; KNIJIFF *et al.*, 2000; LYNDEN *et al.*, 2004; DANG, 2007). Distingue-se, também, pelo processo presente, nomeadamente, a degradação física, química ou ambas. A primeira corresponde à erosão (hídrica, eólica, movimentos de massa), compactação, défice ou excesso de água, entre outros processos derivados da intervenção antrópica

(ARBESTAIN *et al.*, 2008), como por exemplo, movimentos causados por explosivos; já a segunda corresponde à acidificação, alcalização, salinização e poluição nos mais variados tipos (urbana, industrial, agroquímica, entre outros). Quanto à degradação físico-química, esta corresponde, essencialmente, ao declínio da fertilidade pela destruição da cobertura vegetal, matéria orgânica e alteração dos agregados, ou seja, alteração da estrutura do solo. Importa mencionar que a degradação é uma componente natural, intensificada pela acção antrópica e em alguns casos desencadeada.

1. 2. EROSÃO DO SOLO

A erosão do solo é um processo que se subdivide em vários tipos, como referido anteriormente, considerada por inúmeros autores como um importante problema ambiental pela redução do potencial agrícola e florestal, principalmente, quando as áreas agrícolas mais importantes são afectadas. Este processo envolve três fases, nomeadamente, a separação ou desagregação das partículas, transporte e deposição dos sedimentos, sendo que, a quantidade de material disponível passível de se desagregar e a capacidade dos agentes de transporte são os factores que irão determinar a intensidade da erosão do solo (FOSTER e MEYER, 1977; JULIAN, 1998; LIMA *et al.*, 2000; CT DEP, 2002; FERREIRA, 2005).

1. 2. 1. EROSÃO HÍDRICA

Dos processos erosivos, destaca-se a erosão hídrica e a sedimentação, devido ao enorme impacto que têm na redução do funcionamento óptimo do solo, processos considerados por JAIN *et al.* (2010) como um dos problemas com maior destaque a

nível mundial nos tempos modernos, agravados com a aceleração induzida pelas actividades antrópicas².

A chuva é o agente erosivo com maior relevância nos processos de erosão hídrica (agente activo), por proporcionar o desencadear de dois processos mecânicos distintos: o impacto causado pelas gotas de chuva no solo (*splash*) e a escorrência pluvial pelas vertentes (ROXO, 1994). A água proveniente da chuva é um elemento com boa capacidade de transporte de fragmentos, considerado desta forma, como um dos principais agentes modeladores das vertentes (ROXO, 1994). Esta água precipitada circula pelas vertentes (Fig. 1.1), tanto à superfície como sub-superficialmente, estando estes movimentos condicionados pelos elementos físicos presentes (vegetação, massas rochosas, construções, entre outros).

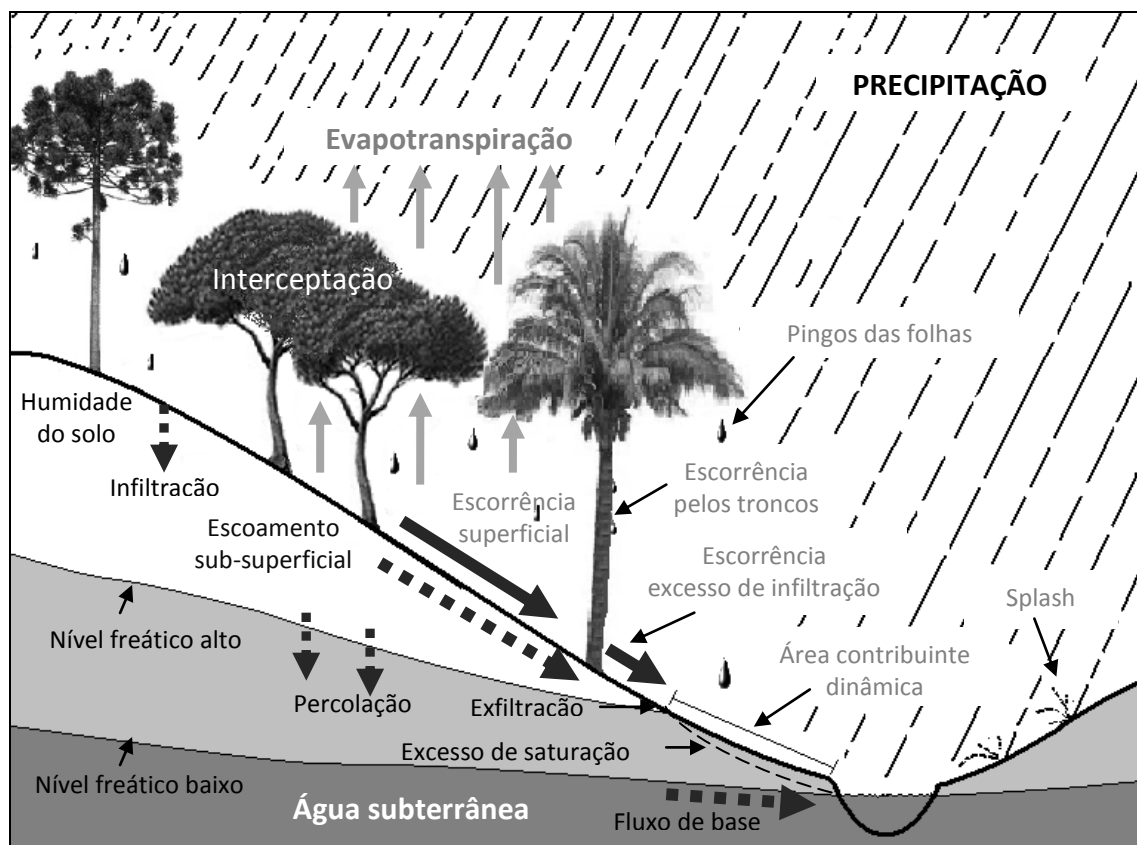


Figura 1.1. Formas de circulação da água nas vertentes (adaptado de CLARK e SMALL, 1982).

² Compreenda-se neste ponto as alterações ambientais a nível global, responsáveis pelo aumento da actividade dos processos geomorfológicos e fluxos sedimentares (JAIN *et al.*, 2010).

A vegetação na superfície das vertentes tem um papel fundamental na interceptação das gotas de chuva (agente passivo), no entanto, esta pode favorecer o aumento da erosão hídrica pelo aumento do tamanho das gotas de água, em função da quantidade de água interceptada pelas folhas, sendo importante para esta amplificação, a forma e tamanho destas. Alguma da água interceptada escorre pelo tronco, podendo infiltrar-se ou simplesmente escorrer pela vertente.

A escorrência à superfície, oriunda da precipitação ou fusão da neve, origina a erosão hídrica do solo (FERREIRA, 2005; RANDLE *et al.*, 2006). A circulação de água na superfície das vertentes pode diferenciar-se entre escorrência elementar (não organizada) e escoamento organizado. O primeiro caso subdivide-se entre escorrência laminar ou toalha, do qual resulta erosão laminar (*sheet erosion*) e escorrência linear ou concentrado, que dá origem a sulcos (*rill erosion*) e ravinas (*gully erosion*), conforme a Figura 1.2. No segundo caso, existe a organização dos cursos de água, sendo este constituído por rios e ribeiras.



Figura 1.2. Efeitos resultantes da erosão hídrica em solos do Concelho de Tarouca.

Correspondendo, a Figura 1.2-A a uma área com erosão por *splash* e por escoamento não concentrado (Localidade de Vila Pouca); a Figura 1.2-B a sulcos com formação de um cone de sedimentos no sector jusante (Lugar da Leira na Freguesia de Gouveães) e a Figura 1.2-C ao início da formação de uma ravina (Freguesia de Ucanha).

A terminologia respeitante às várias formas resultantes da erosão hídrica, não é muito precisa, nomeadamente na definição de sulco, ravina, barranco e valeiro. Estas variam de autor para autor e são diferenciadas apenas por pequenos aspectos

relacionados, essencialmente, com a forma e a dimensão, não havendo um consenso de qual a medida exacta de cada uma delas (PEDROSA *et al.*, 2001).

O sulco, resulta do transporte das partículas de solo desagregadas através da concentração da escorrência superficial, onde o seu alargamento progressivo dá origem ao barranco, uma forma com profundidade superior ao metro, podendo este processo evoluir e atingir formas de maiores dimensões, ou seja, os denominados valeiros (PEDROSA *et al.*, 2004).

O impacto directo das gotas da chuva no solo (*splash*) provoca a desagregação das suas partículas, um processo considerado por ROXO (1994) fundamental no fenómeno de erosão hídrica. Segundo este autor, este processo divide-se em três fases: o impacto da gota no solo, originando um esforço pela compressão exercida sobre a superfície; o salpico, resultante da formação de uma coroa com posterior ruptura da gota, projectando partículas e água pelo esforço exercido num corte radial do centro para a periferia e, por último, formação de uma pequena cratera ou depressão convexa. Além destes processos, da força exercida pela gota no impacto com o solo resulta, também, a compactação do mesmo.

O ângulo de incidência das gotas de chuva sobre o solo e o gradiente do declive da área de incidência têm influência na distância que os sedimentos são deslocados por saltação após o impacto da gota de chuva (LIMA *et al.*, 1992; ERPUL *et al.*, 2002; ERPUL *et al.*, 2004). A inclinação das gotas de chuva, dependente da velocidade e direcção do vento, é importante na determinação do sentido de deslocação das partículas e na distância que estas são deslocadas, ou seja, quando estas gotas têm o mesmo sentido de inclinação da vertente (concordante) a deslocação é superior, face ao oposto, havendo aqui movimento dos sedimentos e pequenas gotas de água, por um lado, devido à projecção das partículas desagregadas após o impacto da gota de chuva, e por outro, o transporte destas pelo vento (rolamento, saltação ou suspensão) para áreas mais distantes (LIMA *et al.*, 1992). Além destes factores, esta deslocação está dependente da granulometria das partículas do solo (VIEIRA *et al.*, 2004), sua agregação e intensidade da precipitação (ERPUL *et al.*, 2002; FOULDS e Warburton, 2007). A exposição das vertentes também tem influência na erosão hídrica, nomeadamente na insolação a que estas estão sujeitas, sendo que quando esta é

elevada, há a aceleração da decomposição e impede a formação de uma espessa camada de manta morta, aumentando desta forma, a escorrência superficial (FLORESTAR, 2007).

Do processo de *splash* resultam algumas formas, como as pequenas crateras ou pináculos por erosão diferencial. Na formação destes pináculos está implícita a erosão hídrica diferencial, derivada do impacto das gotas de chuva sobre uma superfície “revestida” por material mais coeso ou inalterável pelo impacto, funcionando como protecção contra as gotas, havendo apenas erosão na área em seu redor, com consequente rebaixamento (Fig. 1.3). As partículas desagregadas são transportadas pelo escorrência superficial para áreas mais deprimidas, sendo este transporte feito em torno dos pináculos formados. Esta escorrência passa a ser concentrada e pode originar erosão lateral destas micro-formas, processo que pode levar ao seu colapso.



Figura 1.3. Pequenos pináculos resultantes da erosão hídrica causada pelas gotas da chuva.

Quando as condições meteorológicas proporcionam a formação de gelo no solo, principalmente durante períodos anticiclônicos frios e secos, podem ocorrer outros processos morfogenéticos com capacidade erosiva, nomeadamente na formação de “*pipkrakes*” (TELES, 1996). Segundo OUTCALT (1971), citado por TELES

(1996, p.5), são pequenos “... *filamentos verticais de gelo com cerca de 1mm² de secção, que podem atingir um comprimento até cerca de 10cm...*”. Desenvolvem-se sempre na vertical e elevam os sedimentos da unidade posterior (Fig. 1.4), ou seja, a camada superficial, proporcionando o seu movimento vertical e horizontalmente durante um ciclo de gelo-degelo. Este processo em conjunto com o *splash* actua de forma preparatória na libertação de partículas do solo, podendo dar início à formação de ravinas, instaladas quando se verifique escorrência concentrada (PEDROSA *et al.*, 2001).



Figura 1.4. “Pipkrakes” em vertente exposta a NW na Freguesia de Gouveias.

Outro processo que pode ocorrer no solo, durante o ciclo gelo-degelo, é a crioexpulsão. Neste processo, os elementos grosseiros são deslocados tendencialmente para a superfície, enquanto os sedimentos mais finos têm tendência a deslocarem-se em sentido contrário. Para a explicação destes movimentos têm surgido várias hipóteses, evidenciando-se nestas, o facto de os elementos serem puxados ou empurrados nos mecanismos presentes durante o processo de congelação-fusão (WASHBURN, 1979; BALLANTYNE e HARRIS, 1994).

1. 3. INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E DA DETECÇÃO REMOTA NA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS DE SOLOS DEGRADADOS

Com o desenvolvimento dos SIG, o tratamento e análise da informação espacial tornou-se um processo cada vez mais simplificado. Estes contribuíram para a realização de diversos estudos que envolvem variáveis com tradução espacial como,

por exemplo, as dinâmicas e uso do solo (LARDON *et al.*, 1999, citado em COHEN e MERING, 2004), tornando-se uma importante ferramenta na interpretação, controlo e monitorização de determinado processo como, por exemplo, a degradação do solo numa determinada área (LYNDEN e MANTEL, 2001). Com esta evolução, foi possível desenvolver e aplicar modelos de avaliação dos processos erosivos em múltiplos cenários (DYMOND *et al.*, 2010), dando origem nas últimas décadas, segundo KHEIR *et al.* (2008), à proliferação e desenvolvimento de variados modelos (EUROSEM, TURTEM, WEPP, ...) com múltiplas vantagens, nomeadamente a sua aplicação a diferentes escalas. Esta proliferação deu-se depois de comprovada a erosão acelerada na região mediterrânica.

Os SIG são considerados por BABAN e YUSO (2001) uma ferramenta fundamental na identificação de áreas com risco potencial à erosão, possibilitando, segundo estes, a tomada de decisões mais eficazes e coerentes sobre as mesmas e, também, a recomendação de medidas de conservação no âmbito desta temática. Permitem maior rigor e precisão tanto nos dados de *input*, como nos dados de *output*, com a vantagem de se poder guardar toda esta informação, com os respectivos atributos espaciais, em bases de dados. Desta forma, é viável a sua partilha em vários formatos, por diferentes meios, passível de ser utilizada em diferentes *softwares* e por diferentes utilizadores, sejam eles técnicos especializados em SIG ou não.

Os satélites e o seu poder de recolha de informação da superfície da Terra, vieram revolucionar os diversos estudos que se têm feito sobre a ocupação do solo como, por exemplo, a determinação das suas propriedades, monitorização de determinados processos que nele ocorrem (físicos e químicos), entre outras potencialidades, originando uma nova área de investigação denominada por Detecção Remota (DR). Esta possibilita a obtenção e tratamento de dados em formato digital ou analógico a partir de dados adquiridos pelos referidos satélites, mas também, por fotografias aéreas (HENRIQUES, 1982). São dados úteis nas diversas análises realizáveis em SIG (CYR *et al.*, 1995), pois permitem a integração com outro tipo de informação georreferenciada e, também, determinar e cartografar as características ou propriedades dos objectos existentes na superfície terrestre. Esta informação resulta da detecção pelos sensores da radiação electromagnética emitida ou reflectida na

Atmosfera e pelos diferentes corpos existentes na superfície da Terra, desde que a sua temperatura seja acima do zero absoluto (LOPES, 2003), sendo esta registada por diferentes bandas do espectro electromagnético sob a forma numérica, do qual resultam matrizes de pixéis (imagens digitais).

Com recurso às imagens de satélite, utilizando esta ferramenta (DR), pode fazer-se a classificação do solo a partir da cor que este apresenta à superfície, pois a energia emitida ou reflectida é diferente nos diferentes tipos de solo (SINGH *et al.*, 2004), do qual resultam diferentes assinaturas espectrais. A sua coloração altera em função da quantidade e estado do ferro nele presente e, também, do teor em matéria orgânica (FITZPATRIC, 1986). A tonalidade escura é, geralmente, um indicador da presença de um elevado teor em matéria orgânica, embora a presença de manganês (Mn), também possa contribuir para a presença de tons mais escuros. Pelo contrário, a cor mais clara é o resultado do aumento de carbonatos e sulfato de cálcio (CaSO_4), havendo neste caso, reduzido teor de matéria orgânica (ELLIS e MELLOR, 1995). A matéria orgânica contida no solo proporciona a retenção do carbono, tornando-se fundamental na regulação de níveis de CO_2 na atmosfera (BERNER e KOTHAVALA, 2001). Desta forma, o solo adquire elevada importância no ciclo do carbono, quando comparado com outros reservatórios de retenção do carbono (RETALLACK, 2003; LAL, 2007).

Segundo ASIS e OMASSA (2007) e JAIN e GOEL (2002), a cobertura vegetal é o factor mais importante na redução da erosão do solo. Esta possibilita maior infiltração da água através da sua retenção mas, também, proporciona a redução da velocidade da escorrência à superfície. Funciona como um meio protector contra as gotas de chuva ao interceptá-las evitando o *splash* e tem um papel importante na melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (ELWELL e STOCKING, 1976; MEUSBURGER *et al.*, 2010). Também WYNN e MOSTAGHIMI (2006) e SILVÉRIO *et al.* (2001) destacam a importância da vegetação no conjunto dos factores naturais com maior relevância nos processos erosivos (clima, litologia, tipo de solo e topografia), principalmente na regulação da intensificação da erosão hídrica potencial.

Demonstrada a importância da cobertura vegetal no condicionamento dos processos erosivos, a determinação da sua distribuição espacial é fundamental,

podendo realizar-se com recurso a determinadas técnicas de DR. Um dos índices de determinação de biomassa mais utilizados é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) obtido a partir das várias combinações dos dados de radiância ou reflectância registados nas diferentes bandas espectrais das imagens de satélite (CYR *et al.*, 1995; CARRÃO *et al.*, 2002), de onde resulta um indicador numérico com tradução espacial das áreas com presença de vegetação verde. É possível realizar-se outras classificações da vegetação a partir das características espectrais como, por exemplo, a diferenciação do porte ou a distinção de espécies, no entanto, este último é um processo mais complexo, nem sempre realizável automaticamente, sendo necessário neste tipo de procedimento, recorrer à classificação manual, com base no conhecimento prévio da sua localização (DYMOND *et al.*, 2001).

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA

2. 1. TÉCNICAS UTILIZADAS NA AVALIAÇÃO DA EROSÃO HÍDRICA E NA RECOLHA DE DADOS

A principal técnica utilizada para estimar a perda de solo por erosão hídrica foi a EUPS ou USLE (*Universal Soil Loss Equation*). Devido à importância da cobertura vegetal no condicionamento dos processos erosivos, recorreu-se a imagens de satélite na tentativa de perceber como esta variou ao longo das últimas décadas (dados que complementam os dados da ocupação do solo utilizados na determinação de factores que integraram a EUPS).

Para compreender como varia a erosão real do solo e, de alguma forma, comparar os resultados obtidos através da EUPS com a erosão que ocorre efectivamente numa determinada área, fez-se a monitorização das mudanças na superfície do solo através de estacas graduadas e quadrados pintados em parcelas com diferentes tipos de cobertura, localizadas em vertentes com diferentes exposições durante um determinado período de tempo (maior probabilidade de ocorrer precipitações mais intensas).

Para a modelação e obtenção de novas variáveis espaciais criou-se um modelo numérico de elevação (MNE) com a informação disponibilizada pela Câmara Municipal de Tarouca (CMT), na qual se inclui as curvas de nível e pontos cotados. A construção do MNE foi possível com o recurso aos *softwares* ArcGIS 9.3, ILWIS 3.3 e IDRISI Andes, permitindo estes a obtenção de nova informação, correcção do modelo, a determinação de alguns factores que integram a EUPS e a representação espacial dos mesmos.

Os ortofotomapas cedidos pela CMT serviram para a obtenção de informação relativa à ocupação e uso do solo, nomeadamente, ocupação urbana e culturas nas áreas agrícolas. Esta informação é complementar à informação da ocupação do solo disponibilizada pelo Instituto Geográfico Português (IGP).

2. 2. RECOLHA DE INFORMAÇÃO EM FORMATO VECTORIAL PARA A ELABORAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO DE ELEVAÇÃO

A criação de um modelo numérico de elevação (MNE) possibilita a obtenção de variáveis úteis para a determinação de áreas susceptíveis à erosão hídrica. De todas as variáveis possíveis obteve-se, apenas, os declives e o comprimento e exposição das vertentes, por influenciar directamente o escoamento.

Este elaborou-se a partir de um processo de triangulação (*Triangular Irregular Network*) tendo por base a altimetria com equidistância de 5m e alguns pontos cotados cedidos pela CMT, no entanto, o modelo gerado apresentava algumas imperfeições, sendo necessário proceder à sua correcção. Neste procedimento, foi necessário gerar nova informação com atributos espaciais (alfanumérica) passíveis de integrar o MNE. Recorreu-se ao ILWIS para a criação de mapas de atributos e conversão da informação vectorial para *raster*. Com esta foi possível, no IDRISI Andes, utilizar uma função parabólica, no qual se criaram novos pontos cotados (também designados por pontos críticos) para os topos e fundos de vale planos. São pontos criados por parábolas, em função das curvas de nível, sendo que quando entre vertentes, devido à sua inclinação, se forma uma concavidade, é criado um ponto no topo (Fig. 2.1), pelo contrário, quando há convexidade gera-se um ponto na área mais deprimida (EASTMAN, 2006). Esta informação foi alvo de várias selecções, pois há áreas que são efectivamente planas, daí a necessidade de se conhecer bem a área a modelar.

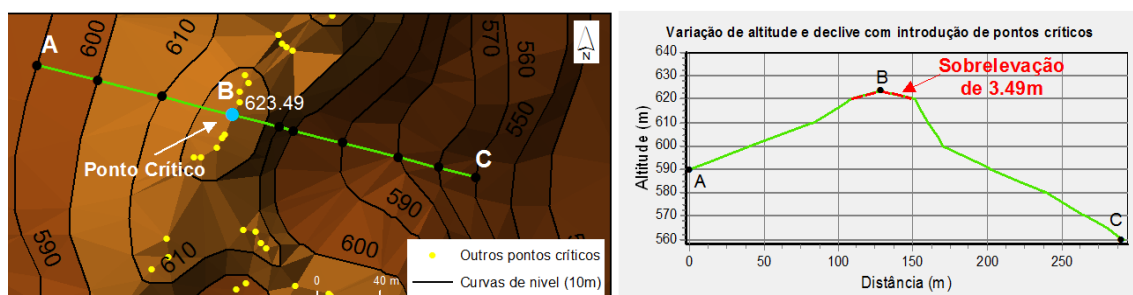


Figura 2.1. Correcção do MNE através de pontos críticos.

Com a altimetria, pontos cotados e pontos críticos gerou-se um novo MNE, do qual derivaram os declives, direcção de fluxos e fluxos acumulados, utilizados na determinação de alguns factores da EUPS. A partir deste modelo obteve-se, ainda, a exposição de vertentes, usada na comparação dos resultados de erosão hídrica monitorizada no campo.

2. 3. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

Para a avaliação da cobertura vegetal do solo recorreu-se a várias técnicas de DR, das quais resultou um indicador desta cobertura. Esta é uma forma de se obter informação mais actualizada, face à informação disponível em formato vectorial da Carta de Ocupação do Solo (COS'90), à escala 1:25 000, com a unidade mínima cartográfica de 1ha, e CORINE Land Cover (CLC'06), à escala 1:100 000, com a unidade mínima cartográfica de 25ha.

Para avaliar a variação espacial e temporal do índice de vegetação, utilizou-se o índice de vegetação por diferença normalizada ou NDVI (AREKHI *et al.*, 2010; KARABURUN, 2010). A informação utilizada para o cálculo deste índice, foram as imagens do satélite Landsat 5 TM (Thematic Mapper) de 1984, 2002, 2007, 2009 e 2010, disponibilizadas pela USGS. De toda a informação disponível, seleccionou-se apenas imagens do mês de Abril, por se tratar da época de desenvolvimento vegetativo.

A determinação destes dois tipos de variação derivou do resultado obtido do cálculo individual de NDVI para cada ano, a partir da informação discriminada anteriormente. É um índice baseado na diferença dos valores entre o infravermelho próximo e o canal vermelho. O primeiro parâmetro caracteriza-se por níveis elevados de reflectância e fraca absorção das plantas verdes, já no segundo, a reflectância espectral é baixa e dominada pela absorção da clorofila (BELWARD e VALENZUELA, 1990; PETTORELLI *et al.*, 2005). Este varia entre -1 ("ausência de folhagem verde") e 1 ("elevada densidade de folhas verdes").

Utilizando as imagens do Landsat 5 TM, este índice obtém-se a partir da seguinte equação:

$$NDVI = \frac{B4 - B3}{B4 + B3} \quad [2.1]$$

onde, NDVI é o índice de vegetação por diferença normalizada; B3 corresponde à banda espectral 3 (vermelho) do visível (0,63 – 0,69µm) com resolução de 30m e B4 é a banda espectral 4 do infravermelho próximo (0,76 – 0,90µm) com resolução de 30m.

2. 4. A EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLO

Recorrer a modelos que traduzam espacialmente a erosão do solo é fundamental, principalmente, na determinação das áreas mais susceptíveis à ocorrência deste processo, de forma a se poder tomar medidas mais eficazes sobre as mesmas.

A Equação Universal da Perda de Solo (EUPS), ou USLE, proposta por WISCHMEIER e SMITH (1965; 1978) é um dos modelos mais utilizado na estimativa da erosão hídrica anual. Conforme mencionado por WILLIAMS (1975), esta equação foi alvo de várias modificações (MUSLE), até à sua revisão (RUSLE) referida por RENARD e FREIMUND (1994) e RENARD *et al.* (1997).

A EUPS (2.2) é um modelo multiplicativo e tem por base o tratamento parcelar de cada um dos factores que integram este processo (Fig. 2.2), resultando a estimativa da erosão específica, ou seja, a perda de solo por unidade de área e por unidade de tempo (WISCHMEIER e SMITH 1965; 1978; TOMÁS, 1993). Esta estimativa traduz-se na seguinte equação:

$$A = RKLSCP \quad [2.2]$$

correspondendo, A à estimativa da erosão (ton.ha⁻¹.ano⁻¹); R ao factor de erosividade da chuva/escorrência; K ao factor de erodibilidade do solo; L ao factor de comprimento da vertente; S é o factor de inclinação da vertente; C ao factor de cobertura do solo e P o factor de prática agrícola.

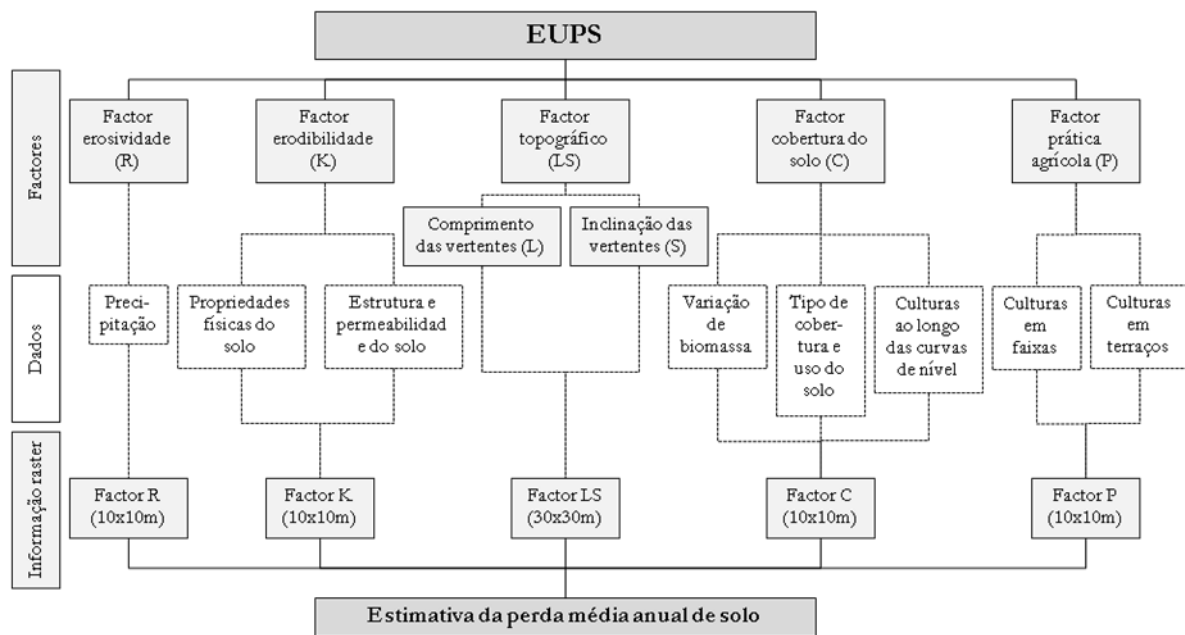


Figura 2.2. Estrutura da EUPS na determinação da erosão hídrica específica.

Nos pontos seguintes faz-se a descrição individual destes factores, tendo em conta as orientações propostas por WISCHMEIER e SMITH (1978) e FOSTER *et al.* (1981), exemplificando-se como são determinados e, posteriormente, a aplicação na área de estudo, com os devidos resultados obtidos.

Por existir elevada complexidade na determinação de alguns factores, utilizou-se outras metodologias mais simplificadas, face às apresentadas por WISCHMEIER e SMITH (1978), sendo estas, também, descritas no ponto a que se referem.

Os resultados obtidos a partir da EUPS estão em unidades SI (Sistema Internacional de Unidades) descritas por FOSTER *et al.* (1981), em vez das unidades do sistema americano, utilizadas pelos autores que desenvolveram o modelo.

2. 4. 1. FACTOR EROSIVIDADE (R)

O factor erosividade determina-se em função da intensidade da precipitação e traduz a capacidade ou poder de destacar e arrastar as partículas pela chuva. Segundo

WISCHMEIER e SMITH (1978), este é definido pelo índice de erosividade (EI_{30}), ou seja, o produto da energia cinética da precipitação pela máxima intensidade da mesma num período de 30 minutos. Para se obter o valor anual deste índice, segundo TOMÁS (1993), somam-se todos os valores dos índices calculados individualmente para cada acontecimento pluvioso³.

Segundo FOSTER *et al.* (1981), a energia cinética da precipitação por unidade determina-se através das seguintes expressões:

$$e = 0.119 + 0.0873 * \log_{10}(I) \quad (\text{Se } I \leq 76 \text{ mm.h}^{-1}) \quad [2.3]$$

$$e = 0.263 \quad (\text{Se } I > 76 \text{ mm.h}^{-1}) \quad [2.4]$$

sendo e a energia cinética da precipitação em $\text{Mj/ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ e I a intensidade da precipitação em mm/h^{-1} .

Pela morosidade no cálculo destes dados e pela exigência no conhecimento muito detalhado da variação da precipitação, optou-se pela metodologia proposta por BERTONI e LOMBARDI NETO (1990) na determinação do factor R . Estes autores consideram apenas as médias da precipitação mensal e anual (mm) para a determinação da erosividade. Segundo estes autores, o factor R obtém-se a partir das seguintes equações:

$$EI = 89.5 * \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0.85} \quad [2.5]$$

$$R = EI * 12 \text{ meses} \quad [2.6]$$

correspondendo, EI à média mensal do índice de erosão (Mj/ha.mm); r^2 à precipitação média mensal (mm); P à precipitação média anual (mm/ano) e R à erosividade da chuva (Mj/ha.mm/ano).

³ Segundo WISCHMEIER e SMITH (1978) os acontecimentos pluviosos estão separados por um intervalo de 6 ou mais horas sem precipitação, sendo que no cálculo do IE_{30} deve considerar-se apenas acontecimentos com precipitação superior a 12.5 mm.

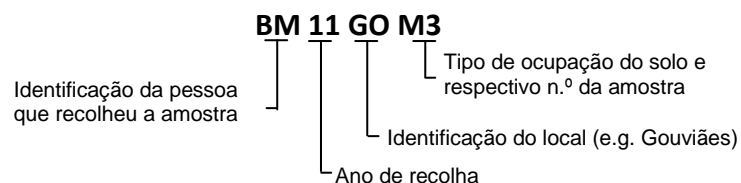
Considerando os condicionalismos físicos impostos pelo relevo na distribuição da precipitação (HENRIQUES, 2009), correlacionou-se a altitude das estações com os dados de EI obtidos e, em função destes, obteve-se a equação da recta de tendência (regressão linear), servindo esta para posterior interpolação do factor R com a altitude derivada do MNE, obtendo-se o respectivo modelo de erosividade.

2. 4. 2. FACTOR ERODIBILIDADE (K)

A Erodibilidade determina-se por comparação com a perda de solo numa parcela de terreno (22,13m de comprimento e 9% de declive) permanentemente a descoberto através da mobilização de solo no sentido de maior declive, avaliando-se a resistência do solo à acção da chuva e da escorrência superficial (Mj/ha).

Este varia consoante as propriedades físicas do solo, nomeadamente a estrutura do solo, granulometria, teor em matéria orgânica e permeabilidade.

Para a determinação das propriedades físicas do solo na área de estudo, recolheu-se várias amostras nos diferentes tipos de solo que compõem esta área (Quadro 2.1). Esta recolha incidiu apenas sobre o horizonte A, por se tratar da unidade mais susceptível à erosão hídrica. Cada amostra foi identificada com uma referência, obedecendo a alguns critérios, conforme o seguinte exemplo:



Posteriormente, estas foram analisadas em laboratório, onde se determinou a granulometria dos sedimentos, teor de matéria orgânica (MO), permeabilidade e a respectiva estrutura.

Quadro 2.1. Identificação das amostras de solo recolhidas nas diferentes unidades pedológicas.

Amostra de solo	Unidades Pedológicas	Características	Ocupação do solo
BM11GOV1	Antrossolos áricos terrácicos dístricos	(em áreas de granitos e rochas afins)	Vinha
BM11SAS2	Antrossolos áricos terrácicos dístricos	(em áreas de xistos e rochas afins)	P. sabugueiro
BM11DAV3	Cambissolos dístricos órticos	(de granitos e rochas afins)	Vinha
BM11VIB4	Cambissolos úmbricos órticos	(de granitos e rochas afins)	Cult. batata
BM11VSM5	Cambissolos úmbricos órticos	(de xistos e rochas afins)	Cult. milho
BM11DAL6	Fluvisolos dístricos órticos	(de aluviões)	P. macieiras
BM11GOV7	Leptossolos dístricos órticos	(de granitos e rochas afins)	Vinha
BM11MEV8	Leptossolos dístricos órticos	(de xistos e rochas afins)	Vinha
BM11EQI9	Leptossolos líticos	(de granitos e rochas afins)	Inculto
BM11SHP10	Leptossolos úmbricos	(de granitos e rochas afins)	Pinhal
BM11VSI11	Leptossolos úmbricos	(de xistos e rochas afins)	Inculto

De acordo com a classificação de WISCHMEIER (1978), a granulometria está classificada em 4 classes, estando a argila compreendida entre 0 e 0,002 mm, o limo entre 0,002 e 0,05mm, a areia fina entre 0,05 e 0,1mm e a areia grossa entre 0,1 a 2mm. A percentagem de sedimentos de limo, areia fina e grossa determinou-se a partir do método de peneiração (DIAS, 2004), enquanto a percentagem de finos (argila), obteve-se pelo método de lavagem da amostra de solo. Neste último método, a argila é separada do resto da amostra pelas consecutivas lavagens da mesma, até a água sair completamente limpa. Esta água com argila passou por um processo de decantação dos sedimentos permitindo, posteriormente, a separação dos mesmos por filtração (papel de filtro). Depois dos sedimentos secos, determinou-se o respectivo peso e obteve-se a respectiva percentagem de finos por cada amostra. Para que a dimensão da população de partículas fosse estatisticamente válida, o peso das amostras considerado nestes procedimentos variou entre 140 a 150g.

Na determinação do teor de MO utilizou-se o método de remoção por ignição na mufla, descrito em COURTNEY e TRUDGILL (1984). Este método consiste na determinação do peso da MO, através da diferença entre o peso inicial e o peso final de cada amostra, após se ter efectuado a combustão térmica da MO na mufla a 500° C.

A estrutura do solo determinou-se seguindo as orientações descritas em USDA (2001). Na classificação de WISCHMEIER, esta está dividida em 4 classes, correspondendo o 1 a granular muito fina, 2 a granular fina, 3 granular grosseira e 4 a compacta.

Para a determinação da permeabilidade, recorreu-se ao modelo apresentado na Figura 2.3. Esta traduz a relação deste parâmetro com a estrutura do solo, ou seja, consoante a percentagem de limo e areia há variação da permeabilidade do solo (PIMENTA, 1998). Este parâmetro está dividido por 6 classes, correspondendo o valor mais elevado (6) a permeabilidade muito lenta e o mais reduzido a permeabilidade rápida (1).

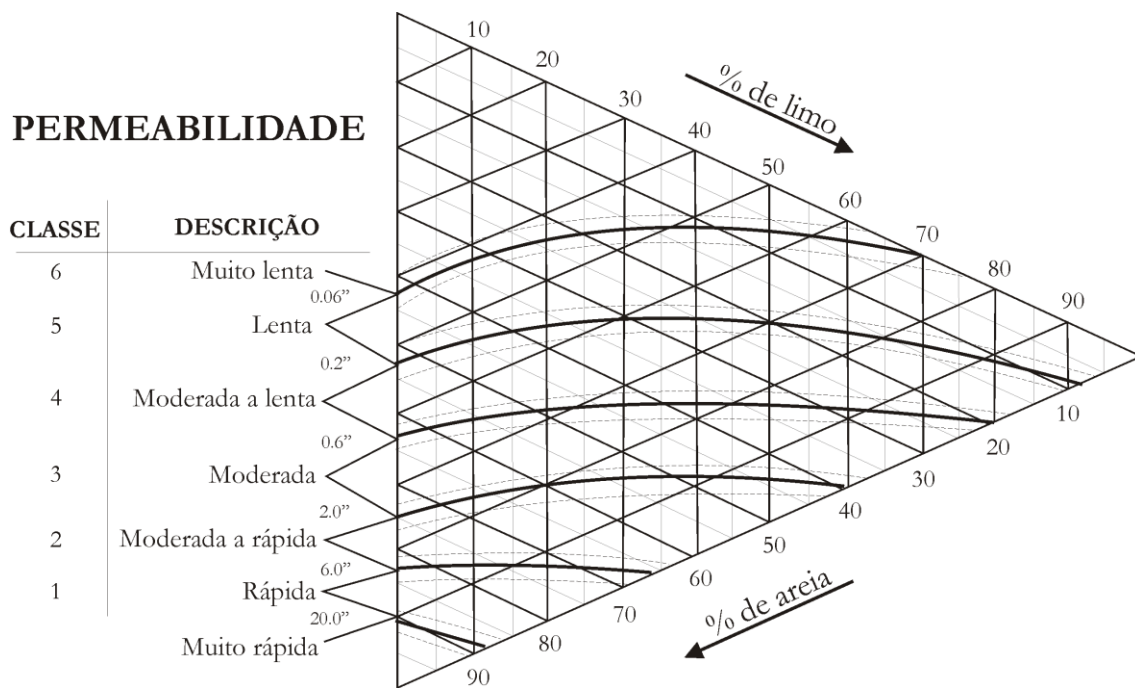


Figura 2.3. Classes de permeabilidade em relação à textura do solo (adaptado de PIMENTA, 1998).

Na determinação do Factor K pode utilizar-se o nomograma apresentado por WISCHMEIER e SMITH (1978). Este foi posteriormente adaptado às medidas SI por FOSTER *et al.* (1981), conforme a figura 2.4.

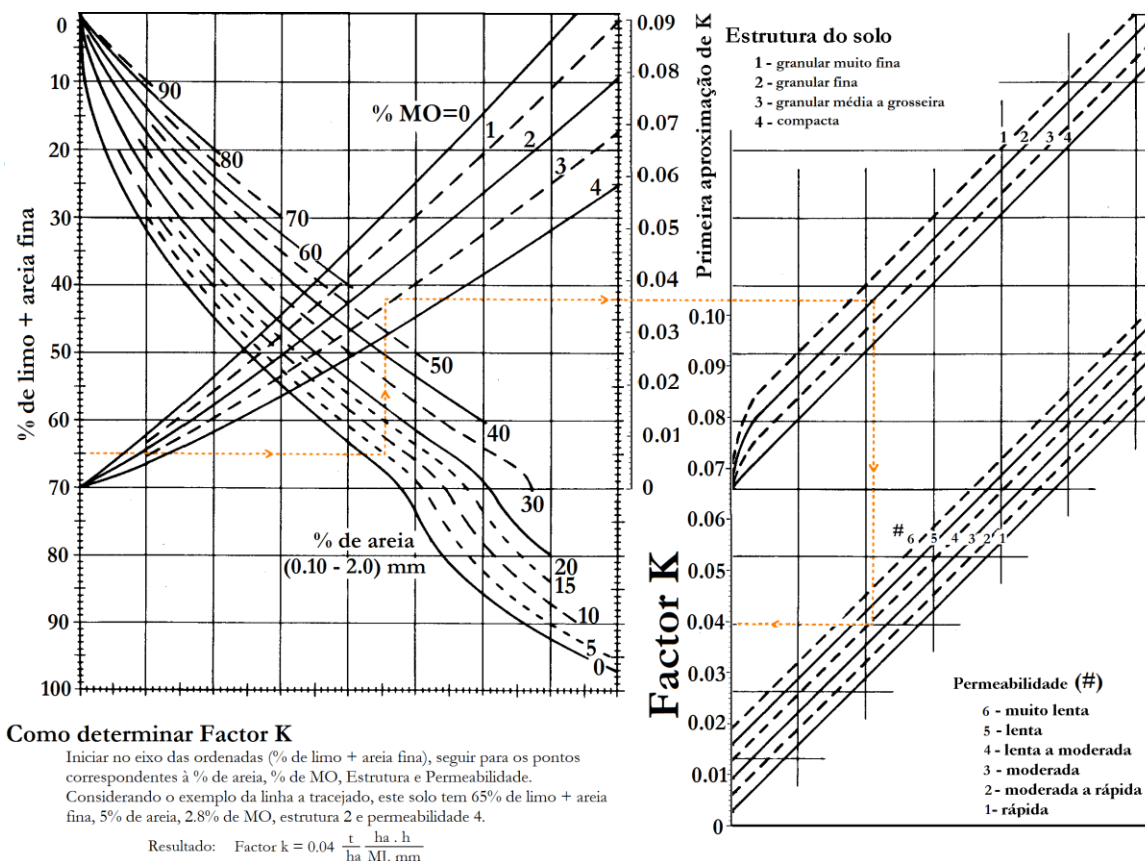


Figura 2.4. Determinação do factor erodibilidade do solo (adaptado de FOSTER *et al.*, 1981).

No entanto, se o solo tiver uma percentagem de areia fina e limo inferior a 70%, pode determinar-se a erodibilidade a partir da seguinte equação:

$$K = \frac{2.1 * M^{1.14} * 10^{-4} * (12 - MO) + 3.25 * (\delta - 2) + 2.5 * (\beta - 3)}{759.3} \quad [2.7]$$

onde, K é a erodibilidade ($\text{ton.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$), M é o resultado da % de limo e areia muito fina * (100 - % de argila); MO a % de matéria orgânica; δ o código da classe de estrutura do solo (1 a 4) e β o código da classe de permeabilidade do solo (1 a 6). A percentagem de argila é igual a 100 – limo + areia muito fina – areia grossa.

Face aos dados obtidos na análise das características físicas do solo, optou-se pela utilização da equação 2.7, por possibilitar maior rigor nos resultados do factor K. Para integração destes resultados nos SIG, inseriu-se estes dados na tabela de atributos da *shape file* dos solos, visto cada amostra recolhida corresponder a uma

unidade pedológica. Nas áreas urbanas, face à impermeabilização, considerou-se que o valor deste factor deveria ser igual a 0.

Os resultados de K em unidades SI podem converter-se em unidades métricas, bastando apenas multiplicar o valor de K por 9,8 (valor da aceleração da gravidade em m.s^{-2}), conforme referido por PIMENTA (1998).

2. 4. 3. FACTOR TOPOGRÁFICO (LS)

Este factor (LS) resulta da relação entre o comprimento da vertente (L) e o declive (S), correspondendo o seu produto, ao quociente de perda de solo. O factor L é definido por comparação com a perda de solo numa parcela com 22,13m de comprimento e traduz a influência deste parâmetro na perda de solo. O factor S traduz a influência do declive na perda de solo e é definido por comparação com a perda de solo numa parcela com declive de 9%. Estes factores são adimensionais, em igualdade com os restantes factores.

O factor LS obtém-se a partir da seguinte expressão:

$$LS = L * S \quad [2.8]$$

sendo, L o factor comprimento das vertentes e S o factor declive.

O factor L traduz a influência da distância entre o início da escorrência superficial e a mudança de declive de uma determinada área, obtendo-se a partir da equação:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^\varepsilon \quad [2.9]$$

correspondendo, λ à distância em metros e ε ao coeficiente dependente do declive (s).

O coeficiente “ ϵ ” adquire, segundo TOMÁS (1993) e SILVA (2003), os valores expressos no Quadro 2.2.

Quadro 2.2. Valores do coeficiente ϵ em função do declive.

s	ϵ
$s \geq 5\%$	0.5
$3\% \leq s < 5\%$	0.4
$1\% \leq s < 3\%$	0.3
$s < 1\%$	0.2

Conforme mencionado por RENARD *et al.* (1997), o parâmetro L está restringido quanto ao comprimento da vertente. TOMÁS (1993), também refere estas restrições, mencionando que as equações apresentadas anteriormente são válidas para vertentes com declive e largura uniforme e com comprimento compreendido entre os 5 e os 300m. Assim, definindo-se que nos *outputs* resultantes dos vários cálculos para a obtenção deste parâmetro, as células deveriam traduzir este valor, ou seja, células com o segmento ou comprimento máximo de 30m, traduzidas numa área de 900m^2 (pixéis com a resolução de $30 \times 30\text{m}$).

No cálculo do factor S , TOMÁS (1993), RENARD *et al.* (1997) e SILVA (2003) referem a divisão dos declives em duas classes, com base na incidência do ângulo formado por cada célula, diferenciando-se nestas, os declives inferiores ou iguais a 9% e superiores a 9%. Para esta diferenciação utilizou-se as seguintes funções:

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03 \text{ (para declive } \leq 9\%) \quad [2.10]$$

$$S = 16.8 \sin \theta + 0.50 \text{ (para declive } > 9\%) \quad [2.11]$$

onde, o S representa o factor declive e θ o ângulo em percentagem de cada célula.

Dada a complexidade de se obter toda a informação espacial para a determinação de LS , nomeadamente o comprimento dos vários segmentos das

vertentes, optou-se pela metodologia de ENGEL (1999) e SIMMS *et al.* (2003). Estes apresentam a seguinte equação para utilização no ArcGIS:

$$LS = \left(\frac{FA * TC}{22.13} \right)^{0.4} * \left(\frac{\sin S}{0.0896} \right)^{1.3} \quad [2.12]$$

correspondendo o LS ao factor topográfico, FA aos fluxos acumulados (*Flow Accumulation*), TC ao tamanho da célula (*Cell Size*) e S ao declive (graus).

Para a obtenção deste factor utilizaram-se as variáveis derivadas do MNE elaborado com o *software* ArcGIS 9.3 a partir da altimetria (curvas de nível com equidistância de 5m) e dos pontos críticos. Deste modelo resultaram duas variáveis fundamentais para a determinação do comprimento das vertentes, nomeadamente a direcção de fluxos e os fluxos acumulados. Na primeira variável, as células adquirem um valor em função da direcção das oito células circunvizinhas, sendo esta direcção sempre para as células de menor altitude, em relação à célula central do conjunto considerado. A partir destes valores, determinou-se os fluxos acumulados, uma variável que traduz o número de células acumuladas de montante para jusante de uma determinada área de contribuição. Esta variável não traduz o comprimento real das vertentes, apenas valores de pixéis acumulados, ou seja, se considerarmos o tamanho dos pixéis anteriormente estabelecido (30x30), 20 pixéis acumulados correspondem a 600m de comprimento. Para não contabilizar os fundos de vale, áreas de maior acumulação, ou seja, valores sem qualquer relação com o comprimento das vertentes, realizou-se, com base nas orientações de HENRIQUES (2009), uma condição no ILWIS para que todos os valores destas áreas passassem a corresponder a 45, comprimento máximo das vertentes verificado no MNE (1350m).

2. 4. 4. FACTOR COBERTO DO SOLO (C)

Este factor traduz a perda de solo em áreas com determinada cobertura vegetal, sendo este a razão entre o quociente de perda de solo de uma parcela com determinada cultura e manejo e uma parcela mantida permanentemente a descoberto

por práticas de mobilização de solo, sob condições idênticas (WISCHMEIER e SMITH, 1978; TOMÁS, 1993). Na determinação deste factor são consideradas diversas variáveis, como o tipo de cultura praticada, períodos de sementeira, densidade de vegetação, estado do solo e quantidade de resíduos deixados após a colheita.

Nesta dissertação, por não ser possível obter todos os dados mencionados por WISCHMEIER e SMITH (1978) na determinação do factor C, recorreu-se à informação da COS'90 e da CLC'06 para a determinação do mesmo. Esta cartografia temática tem informação relativa ao tipo de vegetação presente e o grau de ocupação da mesma. Assim, o factor C determinou-se de acordo com as orientações de PIMENTA (1998a), valores posteriormente comparados com os resultados mencionados por este autor e por TOMÁS (1993) (Quadro 2.3).

Segundo PIMENTA (1998a) os valores deste factor variam consoante a percentagem de área ocupada, devendo estes diminuir ou aumentar se esta cobertura é maior ou menor, respectivamente. Este autor refere a atribuição de um valor elevado a áreas onde o solo está completamente desprotegido, mencionando, por exemplo, nas áreas florestais, o corte raso e áreas ardidas com o valor 0,5. Assim, para complementar e actualizar de alguma forma a informação relativa à ocupação pela vegetação, utilizaram-se índices de biomassa obtidos a partir de imagens do satélite Landsat 5TM de 2009 e 2010.

Quadro 2.3. Factor coberto do solo (adaptado de PIMENTA, 1998a e TOMÁS, 1993).

Tipo de cobertura e uso do solo	Factor C
Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	0,30
Culturas temporárias de regadio	0,20
Culturas temporárias de sequeiro	0,30
Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	0,05
Florestas abertas - cortes e novas plantações	0,10
Florestas de resinosas	0,05
Florestas mistas	0,05
Matos	0,02
Pastagens permanentes	0,02
Pomares	0,05
Sistemas culturais e parcelares complexos	0,20
Tecido urbano descontínuo	0,01
Vegetação esparsa	0,05
Vegetação herbácea natural	0,02
Vinhas	0.20

Face à constante modificação da ocupação do solo, os dados disponíveis referentes à ocupação do solo apresentados pela COS'90 e CLC'06 estão desactualizados, principalmente, no que respeita à variação da área ocupada pelo coberto da vegetal, um factor importante na redução da escorrência superficial (WISCHMEIER e SMITH, 1978, TOMAZONI *et al.*, 2005). Neste sentido, recorreu-se aos cálculos do NDVI de Outubro de 2009 e de Maio de 2010, para a obtenção de dados da cobertura do solo mais recentes, servindo estes para complementar a informação descrita anteriormente. Neste processo interessou, particularmente, obter as áreas com maior variação de biomassa entre o período mínimo e máximo vegetativo, por se tratar de áreas mais susceptíveis à erosão hídrica em função da variação do factor de protecção proporcionado por este tipo cobertura.

Esta variação entre índices de biomassa (VB) obteve-se a partir da seguinte expressão:

$$VB = \frac{\text{Exp}(-1 * (\text{NDVI}_{\chi} - \text{NDVI}_{\gamma}))}{10} \quad [2.13]$$

correspondendo, VB ao índice de variação de biomassa entre o máximo vegetativo e mínimo vegetativo; NDVI_{χ} ao índice de vegetação normalizada do máximo vegetativo (neste caso Maio de 2010) e NDVI_{γ} ao índice de vegetação normalizada do mínimo vegetativo (Outubro de 2009).

Posteriormente, com os resultados de VB e com nos índices estimados com base em PIMENTA (1998a) e TOMÁS (1993) inseridos na tabela de atributos da CLC'06, fez-se a média entre os dois tipos de dados representados espacialmente em formato matricial, obtendo-se o factor de cobertura do solo a utilizar na EUPS.

2. 4. 5. FACTOR PRÁTICA AGRÍCOLA (P)

As práticas agrícolas têm um papel importante na erosão hídrica dos solos cultivados expostos à precipitação ao influenciarem a velocidade da escorrência

superficial e, conseqüentemente, a quantidade de sedimentos transportados (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Segundo SIMMS *et al.* (2003), a implementação destas práticas de gestão do solo ao longo das curvas de nível, faixa e terraços ou socalcos, reduz a erosão hídrica.

Como referido anteriormente, a cobertura vegetal tem a função de protecção do solo, no entanto, a disposição das culturas ao longo da vertente e as práticas agrícolas nele usadas, devem funcionar como suporte na redução dos processos erosivos mencionados. O declive da superfície cultivada também tem um papel fundamental na velocidade da escorrência, daí o aumento do factor P quando estas superfícies têm maior declive conforme o Quadro 2.4.

Quadro 2.4. Valores do factor P (adaptado de WISCHMEIER e SMITH, 1978 e TOMÁS, 1993).

Declive da superfície (%)	Prática de conservação		
	Cultura ao longo das curvas de nível	Cultura em faixas	Cultura em terraços
0 - 1	0,00	0,00	0,00
2 - 7	0,50	0,25	0,10
8 - 12	0,60	0,30	0,12
13 - 18	0,80	0,40	0,16
19 - 24	0,90	0,45	0,18
≥25	1,00	0,50	0,21

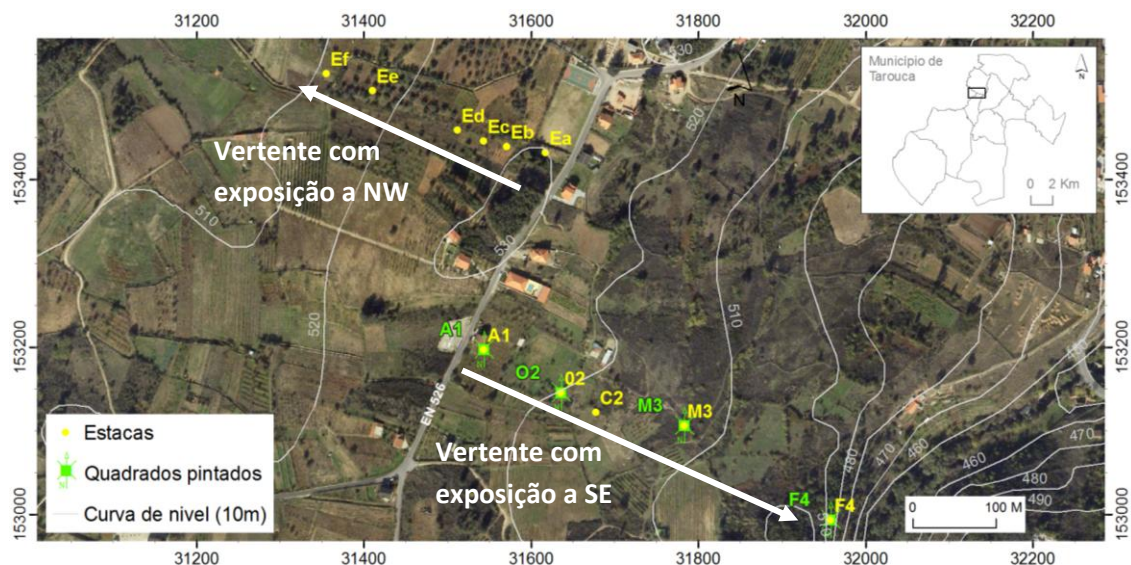
Para a determinação do factor P, utilizou-se a informação vectorial da CLC'06 (tabela de atributos que serviu para a inserção dos valores de P) respeitante às áreas agrícolas e os declives das vertentes, derivados do MNE. Estes dados foram cruzados e, em função da disposição da cultura ao longo das vertentes (observação feita a partir dos ortofotomapas de 2008), inseriu-se o respectivo valor de P, de acordo com o Quadro 2.4. Para as áreas florestais e urbanas considerou-se o atributo 0. Nesta abordagem, dada a falta de informação espacial, assumiu-se que as práticas não variaram entre os 2 anos de intervalo dos dados temáticos anteriormente referidos (CLC'06 e ortofotomapas de 2008).

De forma a integrar as áreas demarcadas como florestais na ocupação do solo neste factor (não contempladas na metodologia descrita), foi necessário alterar o valor

de 0 para a milésima parte da unidade. Esta operação permitiu obter resultados maiores que 0 na unidade matricial alterada quando multiplicada pelas outras unidades dos restantes factores que integram a EUPS. Nesta alteração assumiu-se que, embora sejam áreas com bastante vegetação, factor que proporciona a redução dos processos erosivos, há presença antrópica (desflorestação, pisoteio, entre outros) e de animais (pastoreio), actividades que proporcionam a alteração da protecção do solo por este tipo de cobertura.

2. 5. MONITORIZAÇÃO PONTUAL DA EROSÃO HÍDRICA NUMA ÁREA DO CONCELHO DE TAROUCA COM DIFERENTES TIPOS DE OCUPAÇÃO E USO DO SOLO

Nesta secção faz-se referência ao trabalho realizado no campo, nomeadamente, a monitorização pontual da erosão hídrica pela precipitação através de estacas graduadas e quadrados no solo pintados no solo em áreas com diferentes ocupações do solo (tipo de vegetação, porte e densidade de ocupação) e com diferentes usos (agrícola, inculto e florestal). A quantificação de sedimentos removidos ou acumulados (à microescala) nestas áreas, obteve-se, essencialmente, através das medições efectuadas nas estacas graduadas, colocadas estrategicamente, em função do uso e ocupação do solo. Além destas características, teve-se em conta a selecção de vertentes com diferentes exposições, mas com declives semelhantes, de forma a perceber qual a influência desta variável na erosão hídrica. Assim, fez-se um transepto em várias vertentes do concelho, obtendo-se duas com as características ideais na Freguesia de Gouveães (uma no Lugar da Corga e outra no Lugar da Leira, com exposição a NW e SE, respectivamente) para a aplicação desta metodologia (Fig. 2.5). Esta escolha deve-se, também, a vertentes que integram a mesma unidade pedológica (Antrossolos áricos terrácicos dístricos, em áreas de granitos e rochas afins). De modo a garantir a integridade das estacas e quadrados pintados fez-se pequenos ajustes do sítio a efectuar as várias observações (facto referido inicialmente).



comparar visualmente a acção das gotas de chuva no solo e observar formas resultantes da erosão hídrica.

Este método aplicou-se na mesma vertente exposta a SE, utilizada na monitorização por estacas, por se tratar de áreas com características físicas muito semelhantes, mas com diferentes ocupações do solo. Teve-se em atenção algumas características do local onde se pintou estes quadrados, nomeadamente, a semelhança de declives, a exposição, a ausência de vegetação herbácea e, também, a quantidade de material grosseiro visível à superfície (cascalho e calhaus). Todos os quadrados foram orientados a N, de forma a estarem todos sob as mesmas condições perante os agentes erosivos. Assim, pintaram-se quatro quadrados junto das estacas localizadas na vertente SE, correspondendo cada um a uma área de $0,25\text{m}^2$ ($0,5\text{m} \times 0,5\text{m}$).

Teve-se em atenção as propriedades da tinta utilizada para a demarcação destes quadrados de forma a proporcionar a menor agregação das partículas na superfície do solo e evitar o efeito “protector” da mesma ao formar um revestimento. Outro aspecto importante foi a selecção da cor, optando-se pelo branco de forma a diferenciar com maior facilidade os sedimentos removidos dos sedimentos não removidos. Todos os quadrados estão sob as mesmas condições no que se refere aos efeitos secundários proporcionados pela tinta, pressupondo que todos reajam da mesma forma perante um determinado agente erosivo.

2. 5. 2. ATRAVÉS DE ESTACAS GRADUADAS COLOCADAS NO SOLO

Para monitorizar a perda de solo por erosão hídrica utilizou-se estacas graduadas colocadas estrategicamente em áreas susceptíveis a este fenómeno. Estas foram colocadas em locais devidamente georreferenciados, de forma a permitir a integração dos dados obtidos na modelação realizada a partir dos SIG. Quanto às características das estacas utilizadas, estas são metálicas, têm um comprimento de 25cm por 0,6mm de secção e são graduadas por diferente cores de forma a garantir a sua identificação no meio da vegetação e, também, permitirem saber com maior exactidão qual o rebaixamento ou acreção de sedimentos através da erosão hídrica

nas várias medições. Observando a Figura 2.6, os 15cm a vermelho correspondem ao sector da estaca enterrada no solo e os restantes 10cm, ao sector exposto.

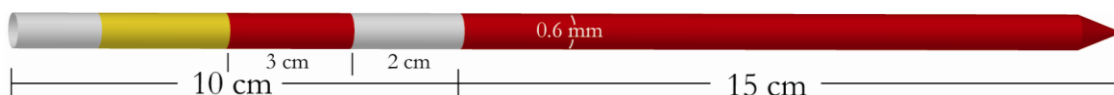


Figura 2.6. Modelo da estaca metálica usada na monitorização da erosão hídrica do solo.

2. 5. 3. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO

A composição física do solo tem influência na erosão, nomeadamente, no aumento ou redução da escorrência superficial em função da quantidade de argila disponível. Estas partículas e a matéria orgânica têm elevada capacidade de adsorção da água e nutrientes, entre outros elementos químicos, elementos importantes para o desenvolvimento da vegetação.

Neste sentido, para compreender qual a influência da composição física do solo nos processos de erosão hídrica recolheu-se junto a cada estaca, duas amostras. A recolha da primeira amostra incidia, apenas, sobre a unidade superficial do solo, usada somente para quantificar a percentagem de matéria orgânica à superfície. Quanto à outra amostra, esta incidia sobre o horizonte A, servindo esta para determinar a granulometria deste horizonte. Estas amostras foram catalogadas da mesma forma como as amostras usadas na determinação do Factor K. Posteriormente, cada amostra foi analisada em laboratório, onde se determinou a % de MO (técnica apresentada por COURTNEY e TRUDGILL, 1984) e a respectiva granulometria através do método de peneiração.

CAPÍTULO 3 - CONCELHO DE TAROUCA

3. 1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A área de estudo compreende, essencialmente, o Concelho de Tarouca. Este é um dos concelhos do Distrito de Viseu, localiza-se a Sul do Rio Douro e enquadra-se na denominada Região Natural da Beira Douro, apresenta uma área estimada de 100,1 km² (Fig. 3.1). Ao nível administrativo, está dividido por dez freguesias (Dalvares, Gouveiães, Granja Nova, Mondim da Beira, Salzedas, S. João de Tarouca, Tarouca, Ucanha, Várzea da Serra e Vila Chã da Beira) e tem como concelhos limítrofes a NW o Concelho de Lamego, a NE o de Armamar, SW Castro Daire e a E/SE Moimenta da Beira.

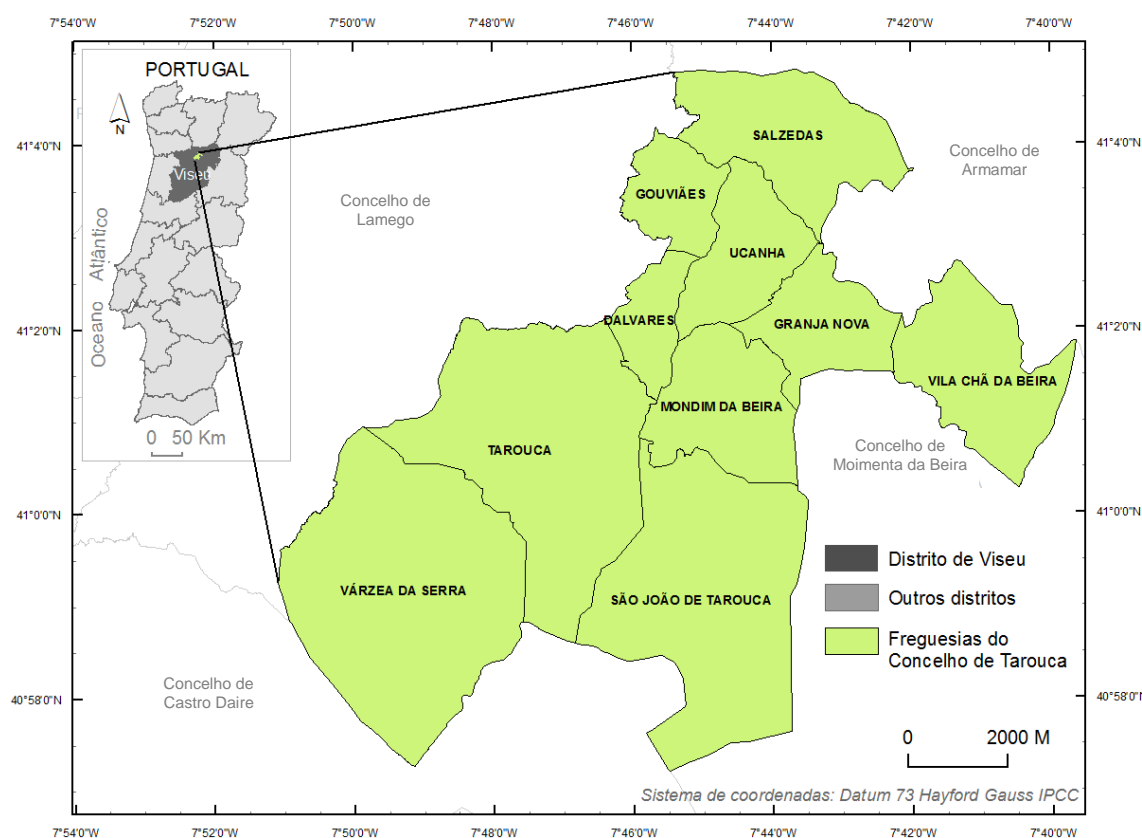


Figura 3.1. Enquadramento da área de estudo (Concelho de Tarouca).

Devido aos vários trabalhos realizados em campo, nomeadamente a monitorização da erosão hídrica por de estacas, alargou-se a área de estudo para além dos limites administrativos oficiais do concelho. Esta operação incidiu, particularmente, no sector SW da Freguesia de Gouviães (Lugar da Corga) e deve-se, sobretudo, às várias ocupações do solo abrangidas pelo transepto aqui elaborado para a realização de vários procedimentos de monitorização da erosão hídrica. Nestas áreas, foi possível garantir a integridade de todo o material aqui instalado para recolha de diversos dados, garantindo desta forma o não enviesamento dos mesmos, por se tratar de áreas privadas, com acesso condicionado.

3. 2. ASPECTOS FÍSICOS DO TERRITÓRIO

No Concelho de Tarouca existem duas litologias dominantes: uma de composição granítica, ocupando maioritariamente a área central do mapa litológico (Fig. 3.2), destacando-se as áreas a NE da Serra de Santa Helena (mais deprimidas) até ao Monte Raso (à excepção do seu sector montante, com predominância de filitos); outra de composição xistosa, a SW da serra, com excepção de um pequeno retalho granítico a ocidente. O fundo dos vales está ocupado por aluviões actuais ou diminutos depósitos de terraço.

Os granitos da Zona Centro Ibérica, na qual se insere a área de estudo, segundo FERREIRA e SOUSA (1994), estão ligados ao ciclo hercínico e foram classificados com base no tempo de instalação, em função dos principais acontecimentos da Orogenia Hercínica. Segundo estes autores, estes granitos classificam-se em dois grupos: orogénicos, correspondente aos granitos de duas micas, granitos de biotite dominante e granitos com instalação associada ao condicionamento por zonas de cisalhamento dúctil da 3ª fase; e o outro, pós-orogénicos, ou seja, dos granitos que intruíram na série anterior, discordantes da orientação geral das estruturas hercínicas. Dos vários maciços distintos em função da instalação de fácies que compõem os dois grupos, destaca-se nos granitos orogénicos o maciço de Penedono, do qual fazem parte os granitos de Penedono-Salzedas-Alvite (granitos de grão fino de duas micas) e o maciço

de Ucanha-Vilar, composto por granitos de biotite dominante (grosseiros, francamente porfiróides). As rochas calcossilicatadas e escarnitos presentes a S e SW do Monte Raso são o resultado da transformação da litologia metagrauváquica.

É visível em algumas áreas graníticas da área de estudo, processos de erosão diferencial e a arenização do granito, processo que desencadeia e favorece a formação de um solo bem desenvolvido, óptimo para o desenvolvimento da agricultura (FERREIRA e SOUSA, 1994). Além destes processos, a alteração dos constituintes deste tipo de rocha nas restantes áreas é fraca, com excepção das plagioclases que sofrem hidrólise moderada (DERCOURT e PAQUET, 1986).

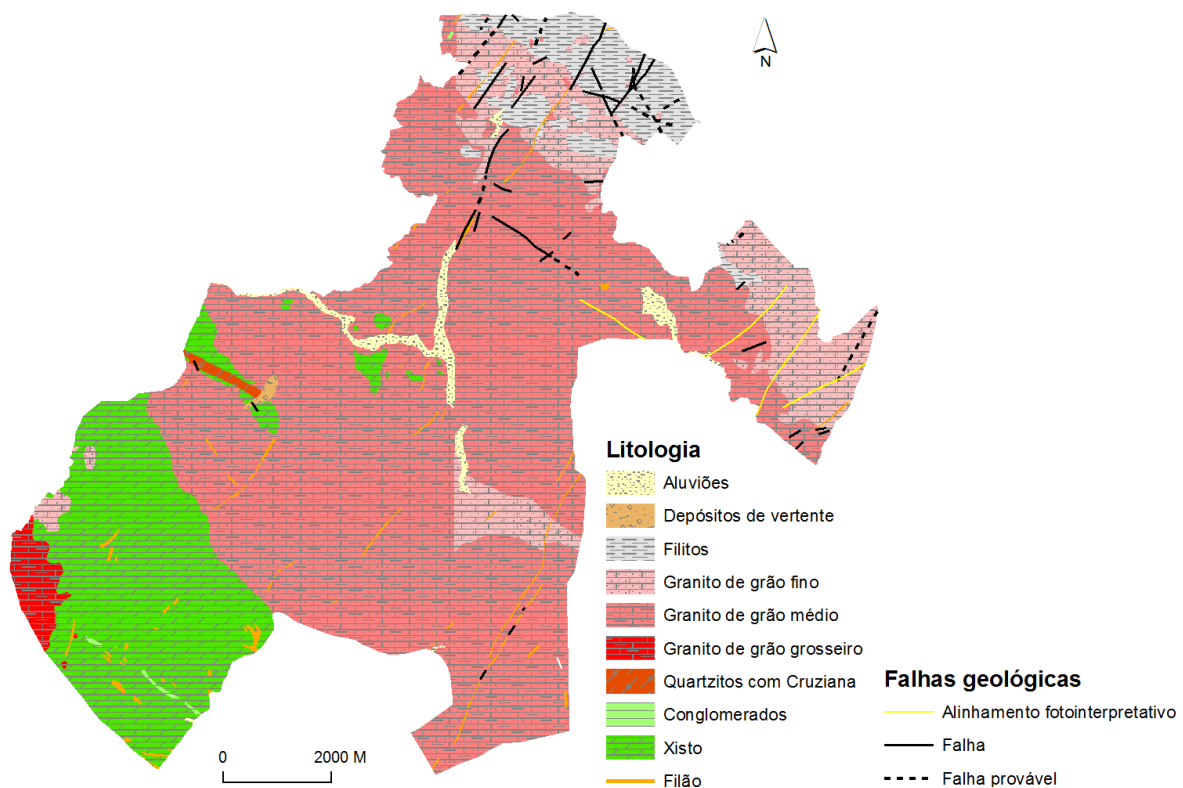


Figura 3.2. Litologia da área de estudo (adaptado das Folhas 14-A e 14-B da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000).

A permeabilidade das formações que compõem o substrato geológico (consolidadas e não consolidadas) tem influência no escoamento, pela capacidade que estas têm de se deixar atravessar pela água. Estas constituem-se como um factor adimensional, por aumentar à medida que o material é menos compacto e coeso, a

textura é mais grosseira e, também, quando as descontinuidades ou fracturas são elevadas (RAMOS, 2005).

Relativamente à geomorfologia, começa-se por referir que as formas de relevo do Maciço Antigo são predominantemente “...*superfícies de aplanamento, mais ou menos dissecadas pela erosão fluvial quaternária ou deslocadas pela tectónica terciária e quaternária...*” (FERREIRA e FERREIRA, 2004, p.14). Os planaltos fragmentados que constituem este relevo têm várias extensões e elevações, onde as diferentes altitudes entre planaltos são o resultado de acidentes topográficos, estando alguns deles cortados por vales (BIROT, 1975).

A área compreendida pela Carta Geológica 14A (Lamego), na qual se insere parte da área de estudo, é classificada por TEIXEIRA *et al.* (1969, p.7) como “...*montanhosa e acidentada, com relevos ásperos e vales estreitos, alguns deles de percurso rectilíneo, a denunciar acidentes tectónicos...*”. Estes autores destacam a Serra de Santa Helena pela sua elevação e pela sua natureza granítica (elemento relevante na área de estudo, com a altitude de 1103m), mas evidenciam, sobretudo, as vertentes íngremes expostas a NE, com declives entre 25° e 45°, um factor que tem interferência na velocidade do escoamento e infiltração, havendo nos declives mais elevados aumento desta velocidade, proporcionando menor infiltração (RAMOS, 2005).

A Freguesia de Várzea da Serra, localizada a SW desta serra, apresenta um relevo distinto da restante da área de estudo, devido à sua localização na designada superfície fundamental, uma área de aplanção poligénica da Meseta (SOLE, 1952; citado por FERREIRA e SOUSA, 1994), apresentando, assim, vertentes com declives pouco acentuados. A paisagem de lombas e cabeços arredondados aqui presente, deve-se ao facto de esta ser, essencialmente, em xisto e apresentar uma dissecção acentuada. Estas rochas impermeáveis favorecem o desenvolvimento de uma rede hidrográfica densa (FERREIRA e FERREIRA, 2004), conforme se pode constatar na Figura 3.3.

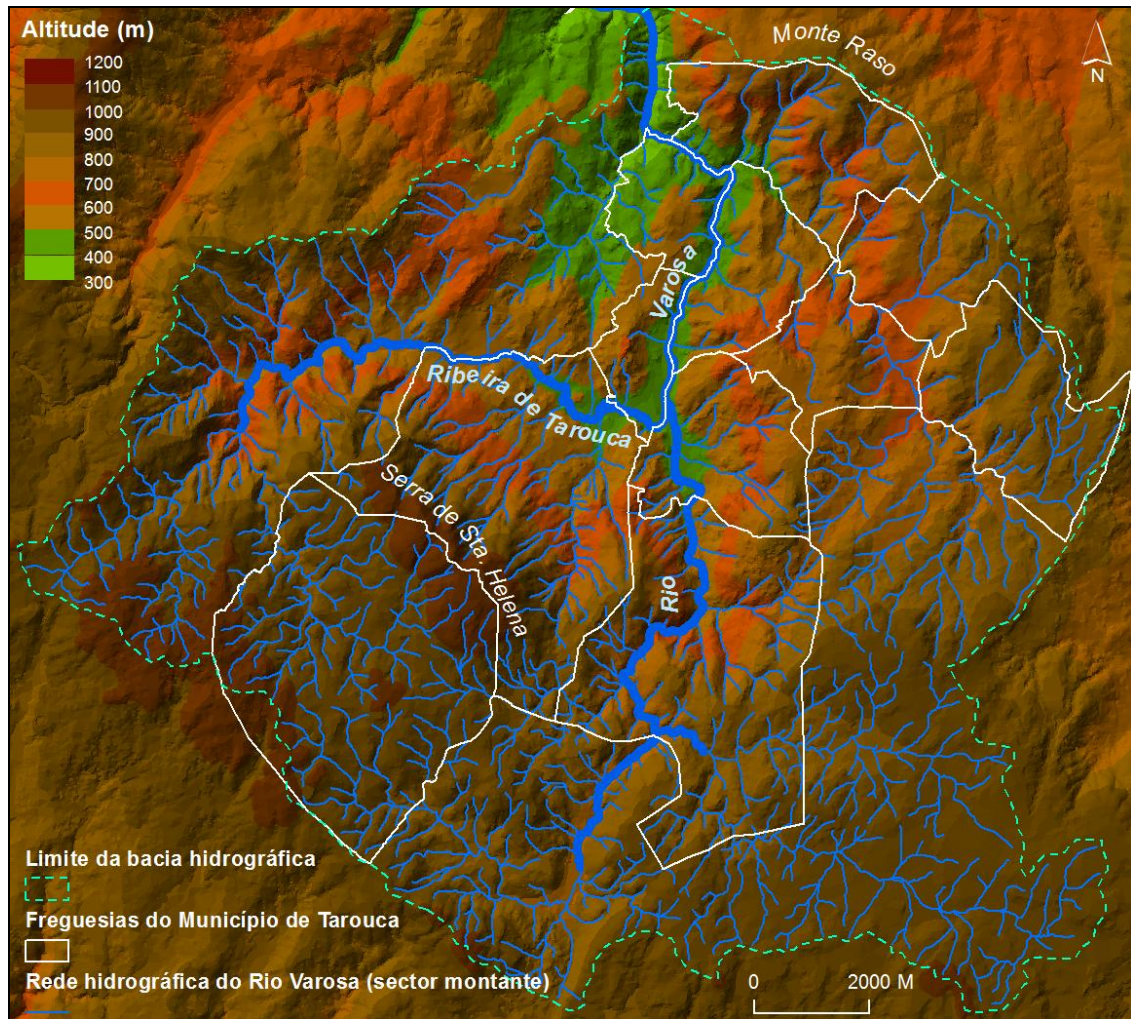


Figura 3.3. Modelo Digital de Terreno do Concelho de Tarouca e área envolvente, com sobreposição da rede hidrográfica do sector montante do Rio Varosa.

Segundo RIBEIRO (1940), as superfícies de aplanamento bem conservadas nestas áreas têm tendência a desaparecer, locais marcados pela degradação muito rápida das escarpas de falha. Algumas das saliências semi-rectilíneas visíveis na paisagem, são cristas correspondentes a filões quartzosos que preencheram algumas fracturas, daí o seu alinhamento, expostos actualmente devido à erosão diferencial (FERREIRA e SOUSA, 1994). Podem encontrar-se estas cristas na vertente da Serra de Santa Helena voltada para a Cidade de Tarouca, em S. João de Tarouca e nas vertentes do Monte Raso (Salzedas).

O contraste da altitude desta área é muito acentuado, nomeadamente, entre o N e NW, com altitudes compreendidas entre os 300m e 700m e o S e SW, com altitudes superior, na ordem dos 700m a 1100m.

Quanto aos declives das vertentes na área de estudo (Fig. 3.4), destaca-se com forte declive ou valores mais elevados as vertentes da Serra de Santa Helena expostas a NE, as vertentes do Monte Raso e as vertentes do sector montante do Rio Varosa (Freguesia de São João de Tarouca). Já as áreas dos fundos do Vale do Varosa e do Vale da Ribeira de Tarouca, entre Mondim da Beira e Dalvares, correspondem às áreas de menor declive do concelho. A área xistosa (Várzea da Serra) sobressai da restante área em análise com vertentes de fraco declive, sendo esta caracterizada pela predominância de cabeços arredondados, devido à litologia presente.

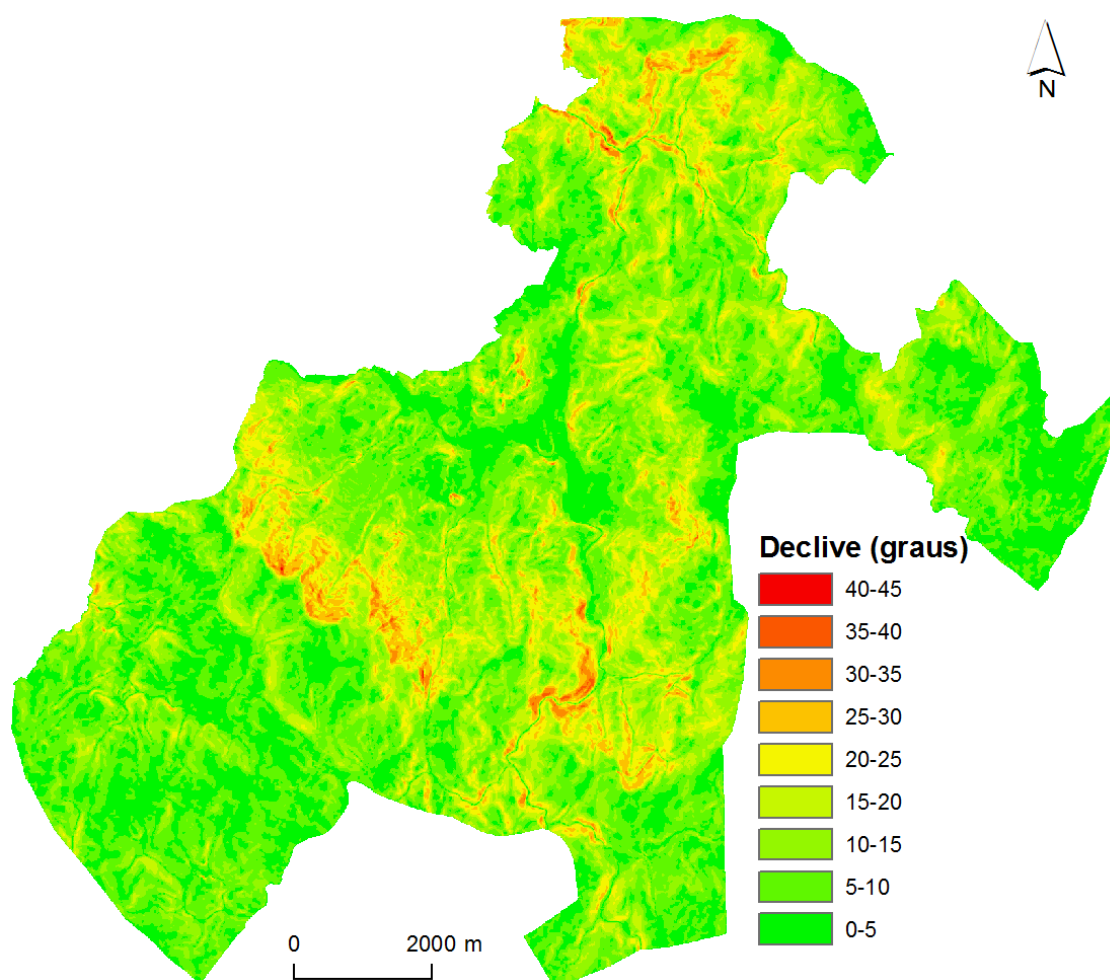


Figura 3.4. Declives das vertentes do Concelho de Tarouca.

Sobressai na orografia desta área, o Vale do Varosa, por onde circula o Rio Varosa, o Vale da Ribeira de Tarouca e o de Salzedas, por onde circula o Rio Torno. O Rio Varosa tem início na região de xistos metamórficos de Várzea da Serra e desagua no Rio Douro. É um rio bastante meandrizado, apresentando, segundo FAVAS (2008), um caudal reduzido durante o período seco e bastante torrencial no período de maior precipitação. Circula por vales estreitos, principalmente a jusante de Dalvares e Gouviães onde a rede hidrográfica é muito encaixada. Já a forma do vale próximo a Tarouca é mais amplo, e é uma área ocupada, essencialmente, por aluviões (TEIXEIRA *et al.*, 1969). Devido ao entalhe originado por este rio, acentuou-se a degradação da superfície fundamental (FERREIRA e SOUSA, 1994). A Ribeira de Tarouca inicia-se na mesma área do rio anteriormente mencionado, mas ao contrário deste, circula pelo N da Serra de Santa Helena, encontrando-se os dois cursos de água na Freguesia de Mondim da Beira. Segundo FERREIRA e SOUSA (1994), a direcção das linhas de água têm grande coincidência com o sistema de fracturação principal NNW-SSE, destacando-se, também, as direcções N-S e NNE-SSW.

A área de uma bacia hidrográfica tem influência no escoamento sendo que, quanto maior a área de captação de precipitação, maior será o escoamento total, no entanto, a forma da bacia (estreita ou circular) determina o seu comportamento, um factor importante em caso de cheias (RAMOS, 2005). O factor forma da bacia do sector montante do Rio Varosa obteve-se pelo índice de Gravelius ou coeficiente de compacidade (KC), resultando a indicação da presença de uma bacia circular ($K_c=1,3$), sendo esta, composta por afluentes que convergem em secções muito próximas, factor que se reflecte no aumento do escoamento nestes pontos de convergência. Segundo as orientações de RAMOS (2005), esta bacia é compacta por apresentar um valor inferior a 1,6, o que significa tendência para grandes cheias. Nesta abordagem, também, é importante considerar a densidade da rede de drenagem, pela influência no escoamento das águas pluviais.

3. 3. OS SOLOS

A abordagem aos solos na área de estudo teve por base a informação cartográfica dos solos do Nordeste Transmontano, à escala 1:100 000, disponibilizada pelo Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG), sendo esta a única informação disponível sobre a área de estudo. Nesta abordagem teve-se em conta a análise dos solos descrita no Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Douro (IDA, 1998 e IDA, 2001).

O solo na área de estudo apresenta grande diferenciação entre as áreas de maior altitude e as áreas mais deprimidas (Fig. 3.5). Estas últimas são compostas, essencialmente, por Antrossolos áricos terrácicos dístricos, Leptossolos dístricos órticos, Cambissolos dístricos órticos e Fluvisolos dístricos órticos. Os Leptossolos úmbricos correspondem às áreas mais elevadas, destacando-se nesta unidade pedológica os solos que se inserem em áreas de granitos e rochas afins coincidentes com as áreas de maior altitude (Serra de Santa Helena, áreas a S da Freguesia de São João de Tarouca e as áreas a W da Freguesia de Vila Chã da Beira).

O tipo mais representativo na área de estudo é os Leptossolos úmbricos (34,64% do total), seguindo-se os Leptossolos dístricos órticos (23,28% do total), e os Antrossolos áricos terrácicos dístricos (23,09% do total). As restantes unidades pedológicas têm menor representatividade, conforme representado no Quadro 3.1. Quanto à primeira unidade, segundo a descrição em IDA (1998), o horizonte A é úmbrico⁴, com grande representatividade em zonas frias e húmidas, enquanto a segunda, o horizonte A é ócrico⁵, com saturação em bases inferior a 50% e sem propriedades iérmicas.

⁴ Horizonte superficial, escuro, espesso, com predominância do Catião H nas trocas no complexo adsorvente.

⁵ De cores claras e pobre em matéria orgânica.

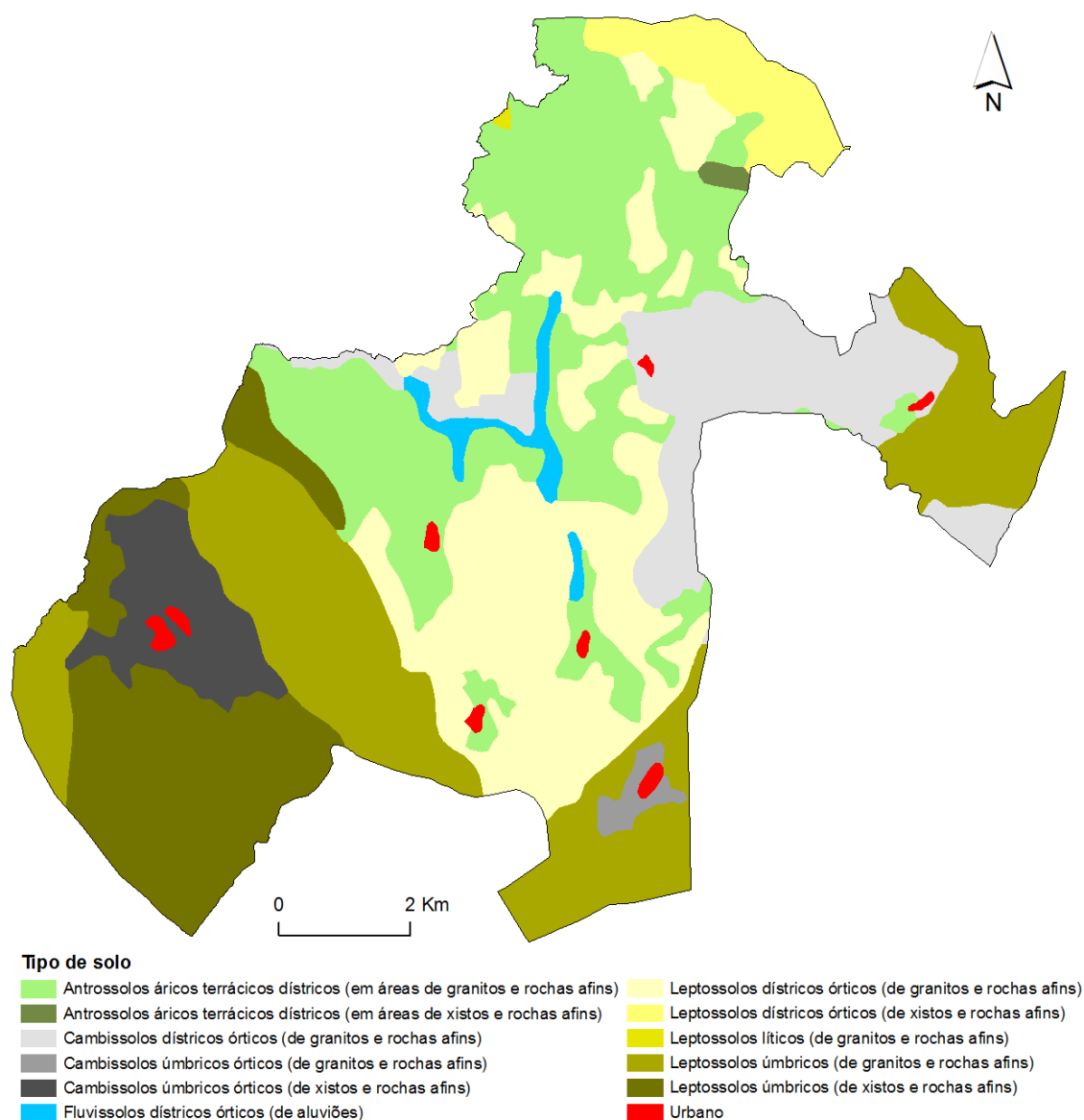


Figura 3.5. Solos do Concelho de Tarouca (adaptado das Cartas do Solo da Região do Nordeste Transmontano (1:100 000), publicadas pelo SNIG).

Quadro 3.1. Descrição dos solos do Concelho de Tarouca.

Unidades Pedológicas	Características	Área		Unidade Cartográfica (%)
		(m2)	(%)	
Antrossolos áricos terrácicos dístricos	(em áreas de granitos e rochas afins)	22872000	22,84	23,09
	(em áreas de xistos e rochas afins)	251400	0,25	
Cambissolos dístricos órticos	(de granitos e rochas afins)	11159200	11,14	11,14
	(de granitos e rochas afins)	742800	0,74	5,60
Cambissolos úmbricos órticos	(de xistos e rochas afins)	4866800	4,86	
Fluvissolos dístricos órticos	(de aluviões)	1483500	1,48	1,48
Leptossolos dístricos órticos	(de granitos e rochas afins)	19357900	19,33	23,29
	(de xistos e rochas afins)	3958100	3,95	
Leptossolos líticos	(de granitos e rochas afins)	62500	0,06	0,06
Leptossolos úmbricos	(de granitos e rochas afins)	21438900	21,41	34,64
	(de xistos e rochas afins)	13246700	13,23	
Urbano	Urbano	689800	0,69	0,69

3. 3. 1. OCUPAÇÃO DO SOLO

Para a análise da ocupação e cobertura do solo recorreu-se aos dados em formato vectorial disponibilizados pelo Instituto Geográfico Português (IGP), nomeadamente a Carta de Ocupação do Solo de 1990 (COS'90) à escala de 1:25 000 e a CORINE Land Cover de 2006 (CLC'06) à escala de 1:100 000.

Os dados da COS'90 foram agrupados em cinco classes simplificadas em função do uso do solo (Quadro 3.2). Considerando estas classes, pode observar-se que a área de estudo é maioritariamente florestal (59,04%), destacando-se nesta a ocupação de áreas por pinheiro bravo – *Pinus pinaster* (Anexo 1). A ocupação por espécie arbórea é predominante nas vertentes com maior declive e nas áreas com maior altitude, geralmente, áreas pedregosas, inúteis para a prática agrícola. A vegetação arbustiva também é abundante na área considerada, destacando-se a presença das espécies *Cytisus scoparius* (giesta) e *Ulex densus* (tojo) na protecção do solo contra os agentes erosivos.

A área agrícola corresponde a 20,68% da área do concelho, destacando-se neste tipo de ocupação o pomar e as culturas anuais (2,97% da área total do concelho) e, com menor expressão, a ocupação por vinha e castanheiro manso. Este tipo de ocupação é predominante nas áreas mais deprimidas (Fig. 3.6). A distribuição espacial deste tipo de ocupação é desigual no concelho, sendo as áreas mais a N, as que apresentam o índice de ocupação agrícola mais elevado.

Já a classe “agrícola e florestal” corresponde às áreas com estes dois tipos de ocupação, compreendendo a 17,73% da área total. Nesta classe há distinção entre a predominância do tipo de ocupação, como por exemplo, “espécies florestais e culturas anuais”, sendo as áreas ocupadas pelo primeiro tipo de ocupação mais representativas, face ao segundo tipo, correspondendo o conjunto a 19,99% da área de estudo. As áreas desta classe localizam-se, essencialmente, nos fundos de vale junto às linhas de água (predominância de culturas cerealíferas, forragens, hortícolas e espécies arbóreas ripícolas) e nas áreas mais elevadas (cereais, pinheiro bravo,

carvalhos e outras resinosas), destacando-se a Freguesia de Dalvares e as Freguesias de Várzea da Serra e Vila Chã da Beira, respectivamente.

Quadro 3.2. Agrupamento dos vários tipos de ocupação do solo apresentados na COS'90.

Tipo de ocupação	Descrição	Área (m2)	Área do Concelho (%)
Agrícola	Áreas agrícolas	80858,8	0,08
	Castanheiro manso	2051624,4	2,05
	Castanheiro manso e culturas anuais	18410,2	0,02
	Culturas anuais e castanheiro manso	217937,3	0,22
	Culturas anuais e olival	106895,5	0,11
	Culturas anuais e pinheiro bravo	54077,7	0,05
	Culturas anuais e vinha	27244,3	0,03
	Olival e culturas anuais	98934,1	0,10
	Olival e olival abandonado	700917,0	0,70
	Olival e pomar	698963,5	0,70
	Pomar	7460873,5	7,45
	Pomar e culturas anuais	2971294,3	2,97
	Pomar e olival	1466973,5	1,47
	Pomar e vinha	233042,6	0,23
	Sistemas culturais e parcelares complexos	898082,3	0,90
	Vinha	2444504,6	2,44
	Vinha e culturas anuais	77612,9	0,08
	Vinha e olival	58776,5	0,06
	Vinha e pomar	1027514,3	1,03
Agrícola e florestal	Culturas anuais e espécies florestais	737234,4	0,74
	Espécies florestais e culturas anuais	17008043,7	16,99
Florestal	Carvalho	1197941,1	1,20
	Carvalho e outras folhosas	35734,2	0,04
	Carvalho e pinheiro bravo	794330,8	0,79
	Castanheiro bravo	213327,0	0,21
	Castanheiro bravo e pinheiro bravo	99638,2	0,10
	Castanheiro manso e bravo	94433,2	0,09
	Castanheiro manso e carvalho	33786,5	0,03
	Castanheiro manso e pinheiro bravo	266046,8	0,27
	Espaços verdes	74706,6	0,07
	Eucalipto e pinheiro	37366,0	0,04
	Outras folhosas	430850,9	0,43
	Outras folhosas e castanheiro manso	57308,8	0,06
	Outras resinosas	1456371,5	1,46
	Outras resinosas e pinheiro bravo	132759,5	0,13
	Pastagens naturais pobres	8830090,5	8,82
	Pastagens naturais pobres e castanheiro manso	39954,3	0,04
	Pinheiro bravo	28014713,7	27,99
	Pinheiro bravo e carvalho	3641518,3	3,64
	Pinheiro bravo e castanheiro bravo	291548,1	0,29
	Pinheiro bravo e castanheiro manso	357765,2	0,36
	Pinheiro bravo e eucalipto	310802,2	0,31
	Pinheiro bravo e outras folhosas	1108847,0	1,11
	Vegetação arbustiva alta e carvalho	343719,3	0,34
	Vegetação arbustiva alta e floresta degradada	144133,0	0,14
	Vegetação arbustiva alta e pinheiro bravo	11082712,9	11,07
Inculto	Rocha nua	277156,7	0,28
Urbano	Tecido urbano	2215087,4	2,21
	Zonas comerciais industriais e serviços	61862,3	0,06

Algumas das culturas praticadas nas áreas das freguesias anteriormente referidas têm implicações ao nível da degradação do solo, principalmente, em áreas em que se praticam culturas de cerealíferas, visto ser necessário proceder à lavra dos terrenos antes do início da estação chuvosa, expondo-os aos agentes erosivos, nomeadamente à precipitação (PEDROSA *et al.*, 2004).

As áreas de inculto e urbanas são as menos representativas no concelho, correspondendo a 0,28 e 2,28%, respectivamente.

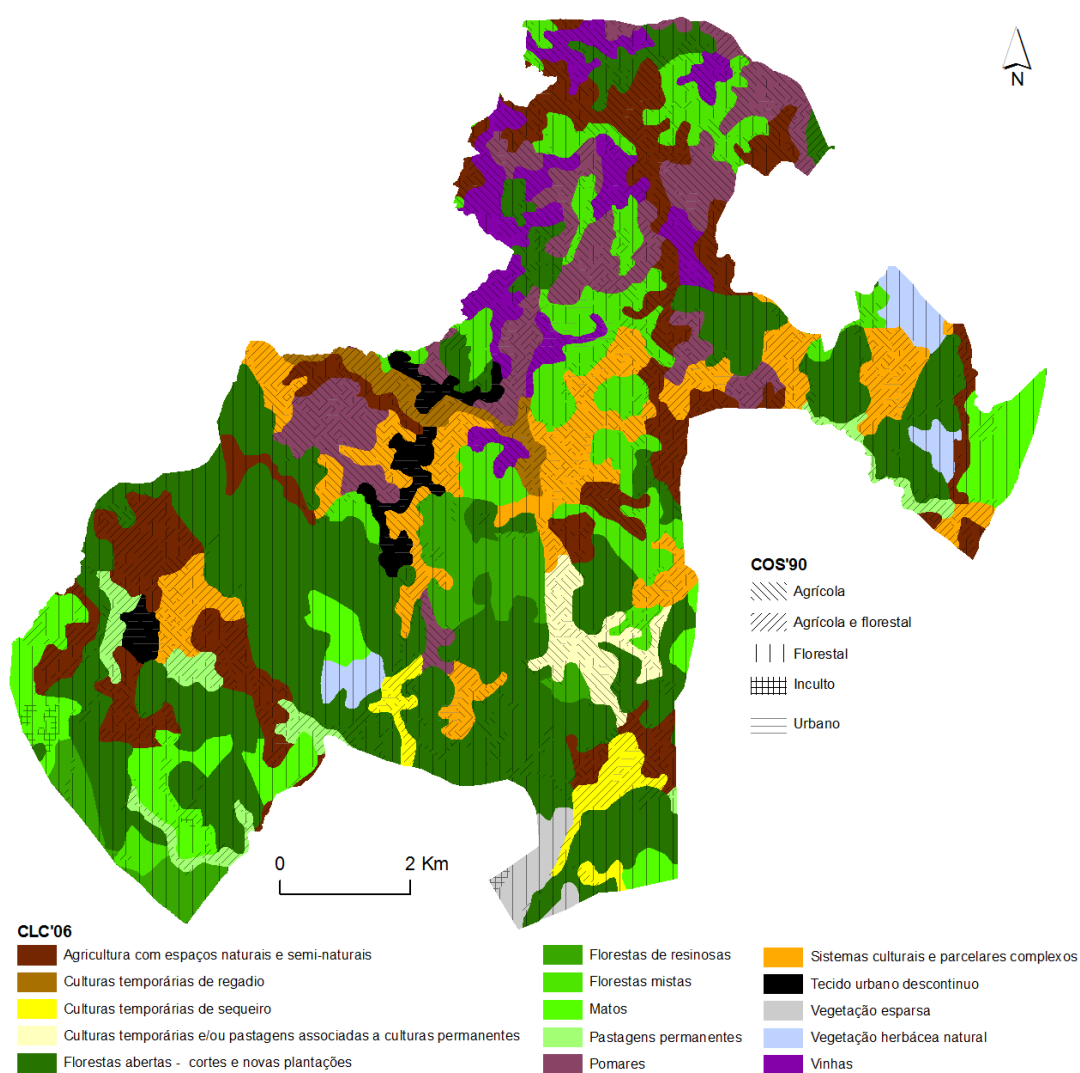


Figura 3.6. Cobertura e ocupação do solo, adaptado da COS'90 e CLC'06.

Perante os dados da CLC'06, as áreas consideradas anteriormente nas cinco classes de ocupação do solo, alteram-se significativamente, em função do agrupamento efectuado (Quadro 3.3). Neste tipo de dados não se verificou área na classe "inculto" mencionada anteriormente. É de referir que a desigualdade entre as escalas da COS'90 e da CLC'06 e, também, as diferenças entre as designações atribuídas à ocupação do solo pelas entidades responsáveis pela elaboração de cada mapa, são aspectos que poderão traduzir a variação encontrada entre as áreas classificadas nas classes resultantes dos vários agrupamentos dos dois mapas temáticos em análise.

Quadro 3.3. Cobertura do solo no Concelho de Tarouca (adaptado da CLC'06).

Tipo de ocupação	Descrição	Área do Concelho		
		m ²	(%)	
Agrícola	Vinhas	5101818,8	5,10	28,20
	Culturas temporárias de regadio	1361207,7	1,36	
	Culturas temporárias de sequeiro	1583981,9	1,59	
	Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	1826685,6	1,82	
	Pomares	8434656,3	8,42	
	Sistemas culturais e parcelares complexos	9926726,8	9,91	
Agrícola e florestal	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	13612082,2	13,59	13,59
Florestal	Florestas abertas - cortes e novas plantações	31921570,1	31,88	56,25
	Florestas de resinosas	4115962,6	4,11	
	Florestas mistas	9100462,3	9,09	
	Matos	6318442,1	6,31	
	Pastagens permanentes	2135360,5	2,13	
	Vegetação esparsa	1047042,6	1,05	
	Vegetação herbácea natural	1682471,9	1,68	
Urbano	Tecido urbano descontínuo	1964352,0	1,96	1,96

3. 4. ASPECTOS CLIMÁTICOS – REGIME PLUVIOMÉTRICO

Na abordagem do tema desta dissertação, é fundamental analisar as características climáticas, de modo a perceber como estas têm influência nos processos erosivos. A pluviosidade é a variável mais importante, pois a quantidade de água precipitada e o período de precipitação (duração/intensidade), em conjunto com

outras variáveis (cobertura vegetal, tipo e uso do solo, etc.) irão determinar a quantidade de solo removido por *splash* e pela escorrência.

Segundo DAVEAU *et al.* (1985), o clima onde se insere a área de estudo é continental, acentuado pela posição topográfica. Estes autores referem a influência da orografia na quantidade de água precipitada como, por exemplo, o efeito de abrigo dos vales profundos da margem esquerda do Rio Douro pela Serra da Estrela às chuvas abundantes de SW, caracterizando-os como secos. No Mapa dos Contrastes Térmicos elaborado por aqueles autores, estão bem demarcadas as áreas mais deprimidas do concelho, caracterizadas por verões moderados (23 a 29°C) e invernos frios, compreendido o mínimo médio do mês mais frio entre 1 e 2°C e com 30 a 40 dias com temperatura mínima inferior a 0°C. As áreas mais elevadas (Várzea da Serra, Monte Raso e áreas a SE da Freguesia de São João de Tarouca) caracterizam-se por invernos muito frios (mais de 40 dias com temperatura inferior a 0°C) e os verões moderados, semelhante às áreas deprimidas. No Mapa de Nevoeiro e Nebulosidade destacam o sector jusante do vale do Rio Varosa como áreas sujeitas a nevoeiro das baixas continentais (de irradiação), frequente durante a noite e de manhã cedo nas estações de Outono, Inverno e Primavera.

As barreiras montanhosas de Montemuro e do Marão-Alvão condicionam os ventos marítimos húmidos, proporcionando um efeito de abrigo às áreas a Este, factor que justifica os valores de precipitação mais reduzidos nestas áreas (PEDROSA *et al.*, 2004). Estas barreiras, pela sua disposição, formam um V e marcam a mudança do domínio climático marítimo de transição para o continental (ALCOFORADO e DIAS, 1993, PEDROSA *et al.*, 2004). Assim, a área de estudo caracteriza-se por invernos frios, por se inserir neste último domínio.

Para compreender melhor a variabilidade espacial e temporal da precipitação, recorreu-se aos dados registados pelas estações meteorológicas instaladas na área de estudo e no seu envolvimento (Fig. 3.7). Estes dados foram obtidos a partir do sítio da internet do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), onde se seleccionou apenas as estações com a série de dados mais prolongada e, sempre que possível, contínua, obtendo-se um total de dez estações. No entanto, não foi possível obter um período suficientemente longo comum a todas as estações, devido à

interrupção prolongada de algumas delas, considerando-se apenas os anos hidrológicos de 1982 a 1996. Com os dados disponíveis, fez-se a análise da variabilidade da precipitação por ano hidrológico, média mensal e por estações do ano.

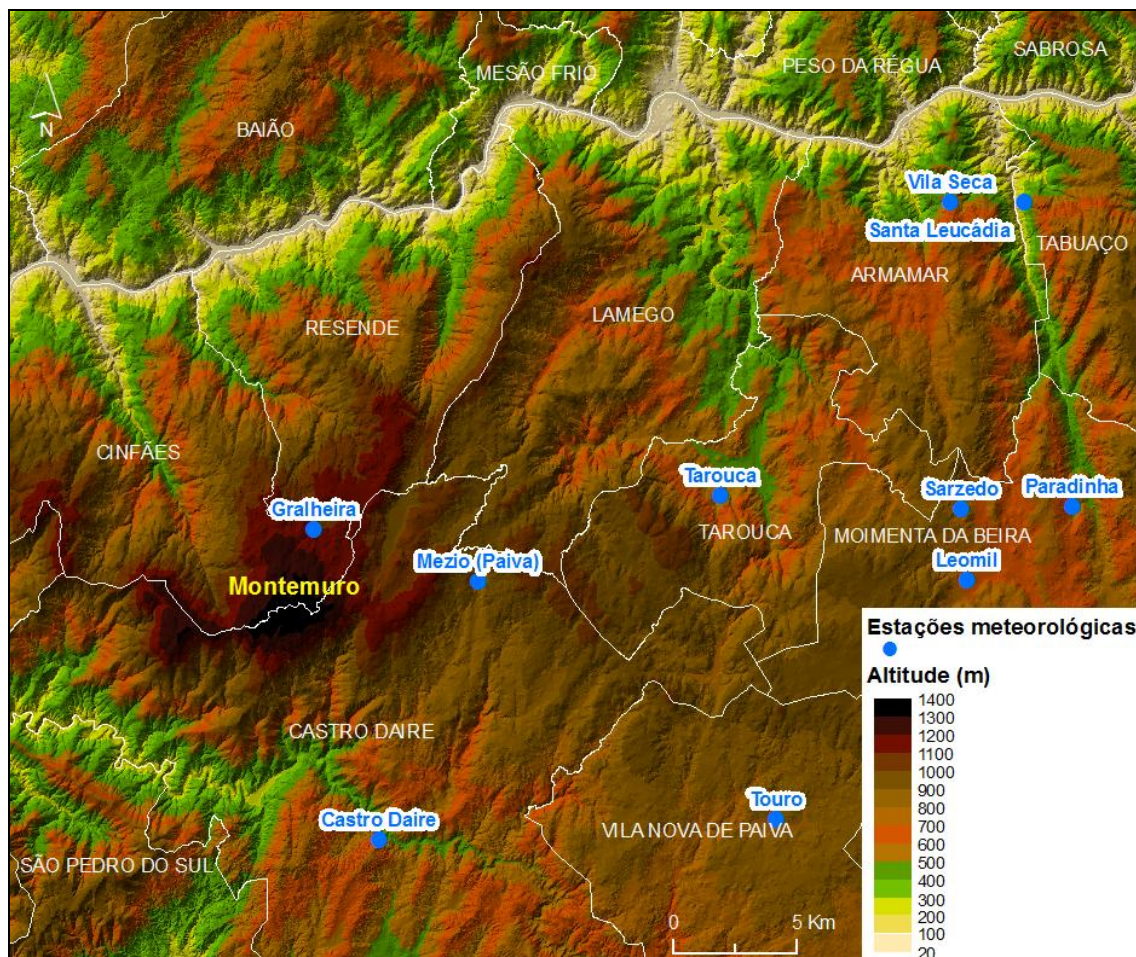


Figura 3.7. Hipsometria do Concelho de Tarouca e dos concelhos envolventes, com a localização das estações meteorológicas analisadas.

De todas as estações meteorológicas em análise no período anteriormente referido, destaca-se a da Gralheira ao apresentar um valor médio da precipitação anual na ordem dos 2173mm (Quadro 3.4), destacando-se, também, as estações do Mezio (Paiva), Castro Daire e Touro, com valores elevados, na ordem dos 1384 a 1690mm. Para as restantes estações, obteve-se valores inferiores a 1000mm, evidenciando-se as estações mais a N e mais afastadas do Oceano Atlântico, com os valores mais reduzidos (Santa Leucádia com 610mm e Vila Seca com 587mm).

Quadro 3.4. Localização das estações meteorológicas mais próximas à área de estudo e respectiva precipitação anual registada.

Estações	Localização			Precipitação média anual entre 1982-1996 (mm)
	Latitude N	Longitude W	Altitude (m)	
Castro Daire	40,8900	-7,9380	584	1512
Gralheira	41,0030	-7,9690	1104	2173
Leomil	40,9835	-7,6556	704	967
Mezio (Paiva)	40,9840	-7,8900	611	1690
Paradinha	41,0100	-7,6050	569	733
Santa Leucádia	41,1212	-7,6275	609	610
Sarzedo	41,0096	-7,6586	749	902
Tarouca	41,0150	-7,7740	526	940
Touro	40,8970	-7,7480	791	1384
Vila Seca	41,1210	-7,6630	558	587

A partir da análise destes dados, verifica-se que os valores mais reduzidos corroboram a influência do conjunto montanhoso anteriormente referido sobre as massas de ar marítimas, ao verificar-se um decréscimo da precipitação à medida que há um afastamento do oceano.

Ao longo do ano a precipitação é mais abundante entre Setembro e Janeiro, com um máximo secundário em Março (Fig. 3.8), dependendo da localização das estações meteorológicas. O mês de Dezembro é o que apresenta valores de precipitação média mensal mais elevados nas estações em análise, com excepção das estações do Mezio (Paiva), Sarzedo e Santa Leucádia com valores mais elevados no mês de Novembro.

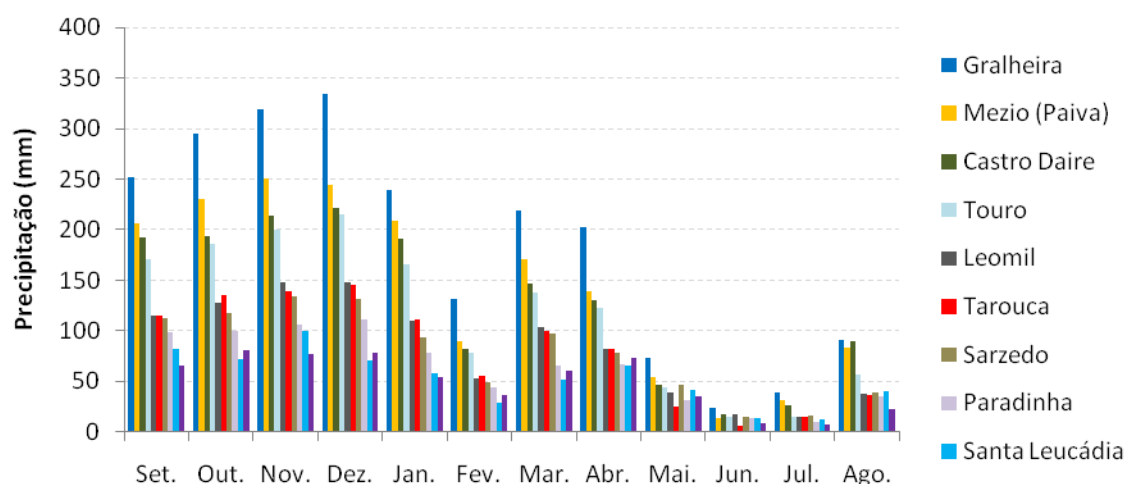


Figura 3.8. Precipitação média mensal (1982-1996) calculada para as dez estações meteorológicas em torno da área de estudo.

Quanto à repartição da precipitação ao longo das quatro estações do ano, verifica-se que a maior parte da precipitação ocorre no Outono em todas estações meteorológicas, seguindo-se o Inverno, Primavera e, com valores mais reduzidos, o Verão (Fig. 3.9). A estação da Gralheira localiza-se num ponto mais elevado face às restantes estações em análise (1104m) sobressaindo-se, também, ao apresentar os valores de precipitação mais elevados em todas as estações do ano. Por outro lado, na estação de Vila Seca registou-se valores reduzidos, verificando-se que esta se encontra a 558m de altitude, o ponto mais baixo do conjunto. Estas observações denunciam a influência do relevo na distribuição da precipitação.

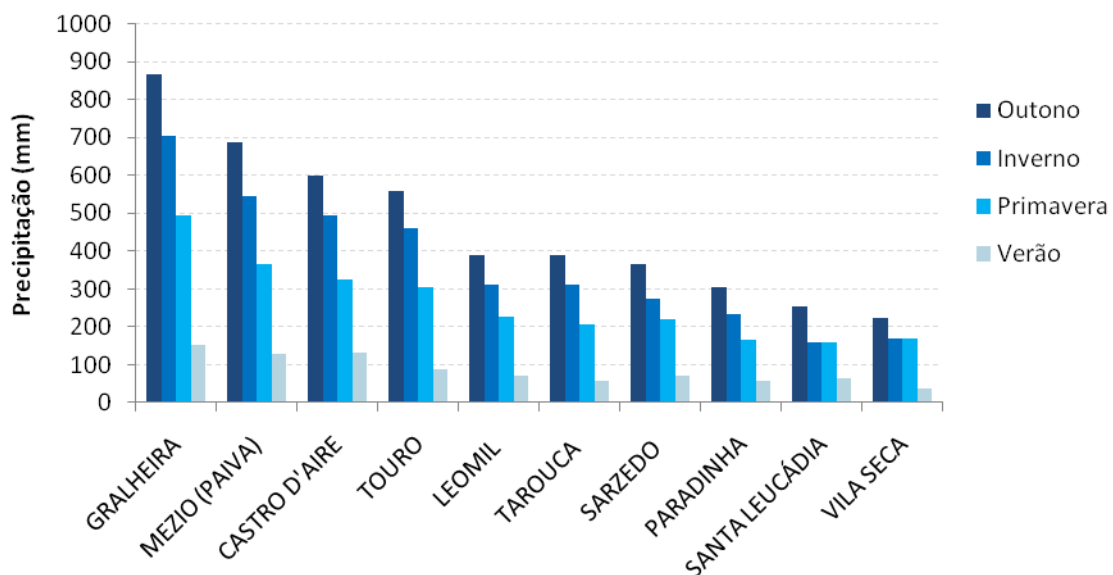


Figura 3.9. Distribuição da precipitação por estações do ano (1982-1996).

Pela relação entre a altitude das estações com a precipitação média anual registada em cada uma, diferenciam-se três grupos (Fig. 3.10): o primeiro corresponde às estações que se encontram localizadas próximas do fundo dos vales, como por exemplo, Santa Leucádia, Tarouca, Paradinha, Vila Seca e Castro Daire, registando-se nestas estações valores de precipitação média anual inferiores às restantes em análise; já o segundo grupo corresponde às estações de Leomil, Sarzedo, Touro e Mezio, com valores de precipitação média anual mais significativos, face aos valores das estações anteriormente referidas (estas estações estão localizadas na designada superfície

fundamental, uma área de aplanção poligénica da Meseta); por último, destaca-se a estação da Gralheira, localizada junto à Serra de Montemuro, com os valores de precipitação média mais elevados, sendo esta a estação localizada mais a E da área de estudo e no ponto mais elevado de todo o conjunto das estações em análise.

Para compreender a variabilidade espacial da precipitação no Concelho de Tarouca, em função da altitude, interpolou-se a variável altitude a que cada estação se encontra com o valor da precipitação média anual de cada estação através de uma função linear, obtendo-se um coeficiente de determinação $R^2 = 0,709$ (Fig. 3.10). Este resultado indica que 70,9% da precipitação é explicada pela variância da altitude. Com estes resultados, pode utilizar-se a equação da recta ou linha de tendência ($Y = 2,0712x - 266,1$) para a elaboração de um modelo numérico de precipitação (MNP), conforme mencionado por HENRIQUES (2009). Nesta metodologia o x da equação corresponde à altitude obtida a partir do modelo numérico de elevação (MNE). Este modelo permite compreender melhor a repartição espacial da precipitação.

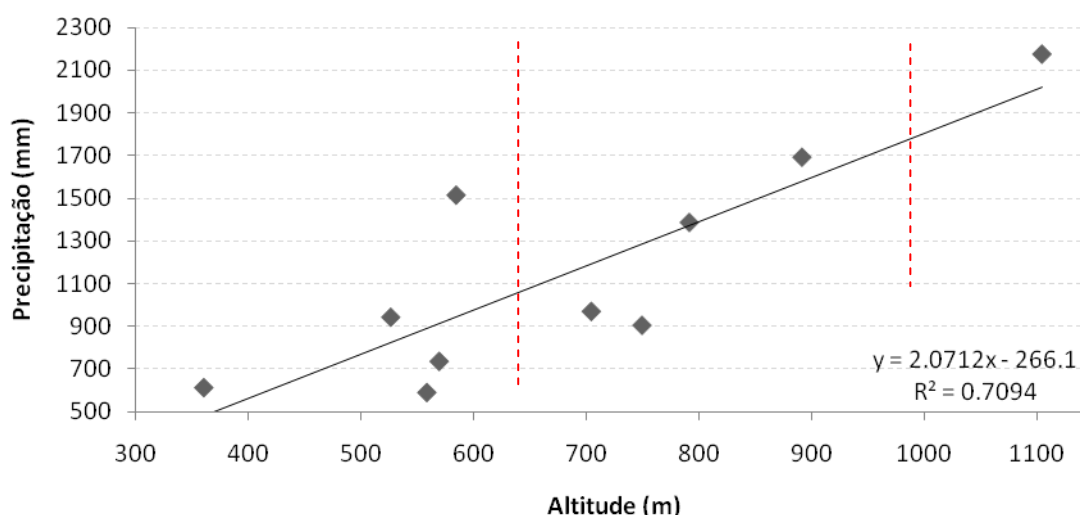


Figura 3.10. Relação entre a precipitação média anual (1982-1996) e a altitude das estações meteorológicas.

No MNP foi possível individualizar três sectores em função dos resultados calculados (Fig. 3.11), sendo estes sectores o produto da divisão em classes pela quebra natural dos valores obtidos. O sector com precipitação mais elevada (3)

corresponde às áreas com maior altitude, destacando-se a Freguesia da Várzea da Serra, o NE da Freguesia de Vila Chã da Beira e algumas áreas de São João de Tarouca. As vertentes da Serra de Santa Helena voltadas a SW é onde se regista os valores mais elevados de toda a área de estudo. As vertentes opostas, o Monte Raso e as áreas orientais de São João de Tarouca, Mondim da Beira e Granja Nova, integram o sector intermédio (2), onde os valores são inferiores face ao sector anterior. Por último, o sector mais seco (1) com os valores mais reduzidos é composto pelos fundos de vale e áreas mais deprimidas. As áreas destes últimos sectores são influenciadas pela topografia, daí os valores mais reduzidos.

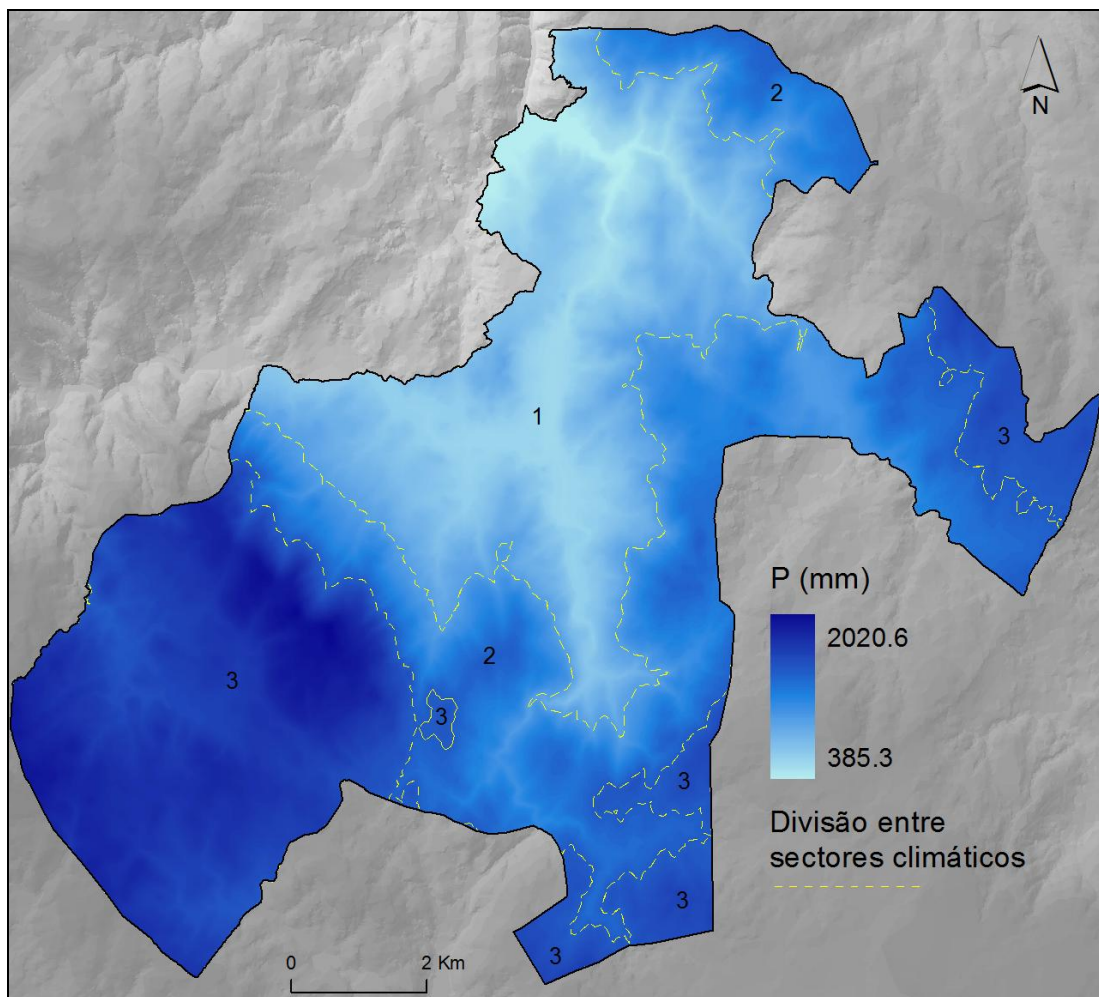


Figura 3.11. Repartição espacial da precipitação anual no Concelho de Tarouca (1982-1996).

Na Figura 3.11 o 1 corresponde ao sector mais seco, com valores de precipitação compreendidos entre 385,3 e 1080mm; o 2 ao sector intermédio, com precipitação entre os 1081 e 1509mm e o 3 ao sector com maior abundância de precipitação, com valores entre 1510 e 2020,6mm.

Nesta abordagem, observa-se a influência do relevo no regime pluviométrico desta área, nomeadamente no aumento da precipitação à medida que aumenta a altitude, um factor que proporciona maior entrada de água nas bacias hidrográficas.

Na área de estudo há apenas uma estação meteorológica, localizada na cidade de Tarouca, encontrando-se actualmente desactivada. Sendo os dados desta estação importantes, devido à sua localização, utilizou-se a série de dados entre 1944 a 1996 disponibilizada no SNIRH. Na análise desta série mais extensa, observou-se grande variabilidade interanual da precipitação, com o valor médio de 1092,4mm. O valor mais elevado registou-se no ano hidrológico de 1951-52 (2810,8mm) e o mínimo em 1995-96 (405,5mm). Pela observação da Figura 3.12, verifica-se uma tendência para a diminuição da precipitação ao longo deste período. Considerando o período de referência (1982 - 1996) utilizado anteriormente na análise da precipitação das outras estações, o valor médio anual é de 940mm.

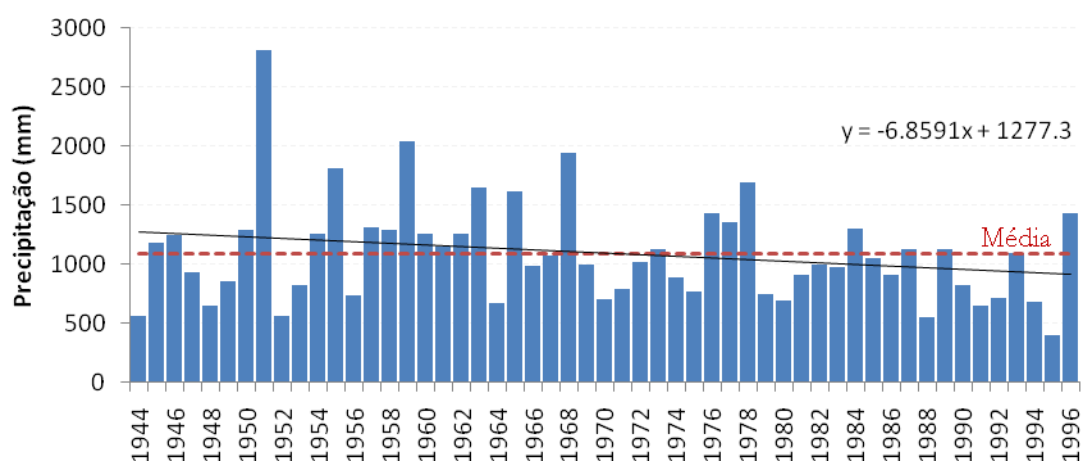


Figura 3.12. Precipitação média anual (1944-1996) registada pela estação meteorológica de Tarouca.

CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DA EROSÃO HÍDRICA POTENCIAL E REAL NO CONCELHO DE TAROUCA

4. 1. VARIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NAS ÚLTIMAS DÉCADAS

Os resultados de NDVI demonstram por um lado, as grandes variações da ocupação do solo por vegetação ao longo dos anos seleccionados e, por outro, variação em função da topografia e da proximidade a cursos de água (Fig. 4.1). Numa análise temporal, verifica-se que no ano de 1984, as áreas a SW e N do concelho apresentam valores mais reduzidos face à restante área em análise. No entanto, a N observa-se que, nos anos mais recentes, há um aumento deste índice (mais vegetação), em função do consequente abandono agrícola, factor que favoreceu o avanço da vegetação natural (Fig. 4.1). Este abandono ao proporcionar a regeneração do coberto vegetal pode favorecer a diminuição dos processos de erosão hídrica, ao favorecer a retenção de água e a sua infiltração. O ano de 2002 sobressai dos restantes anos ao apresentar valores mais reduzidos (média de 0,002), traduzindo o estado débil da vegetação neste ano.

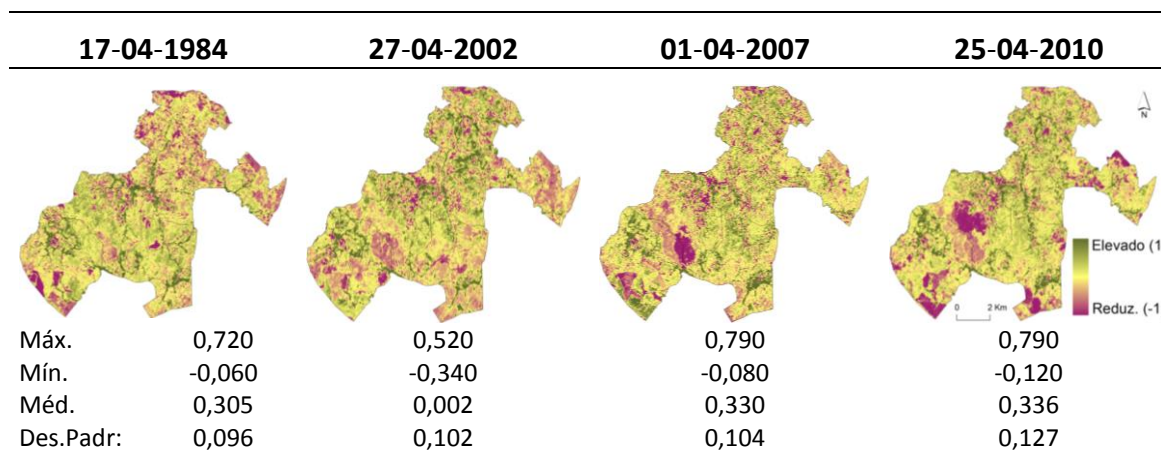


Figura 4.1. Variação espacial do NDVI no Concelho de Tarouca entre 1984, 2002, 2007 e 2010.

O fundo dos vales e alguns sectores de vertentes com maior declive são as áreas onde se regista valores mais elevados. Estes leitos são utilizados,

maioritariamente, para o desenvolvimento de actividades agrícolas de regadio (hortas, pomares, entre outros). Já as áreas com declive mais acentuado, por não ser possível a prática agrícola, são ocupadas por vegetação arbustiva e arbórea, conforme se pode observar na Figura 4.2.



Figura 4.2. Áreas agrícolas abandonadas no N do Concelho de Tarouca, com presença de vegetação natural.

A Serra de Santa Helena destaca-se em todos os mapas, em consequência da fraca ocupação pela vegetação, maioritariamente herbácea e arbustiva, com algumas áreas totalmente descobertas, por se tratar de afloramentos rochosos, daí os valores reduzidos.

Os incêndios são responsáveis pela destruição de grande parte de povoamentos florestais em Portugal conforme os vários estudos apresentados pela Autoridade Nacional Florestal (ANF). Sendo este concelho ocupado por uma vasta área florestal, também, foi assolado por este tipo de catástrofe, dos quais resultou a perda de grande quantidade de vegetação por uma área considerável. Este facto pode observar-se pelas manchas a roxo (valores mais reduzidos) nos mapas de NDVI de 2007

(a SE da Serra de Santa Helena) e 2010 (vertente voltada para Tarouca, conforme Figuras 4.3-A e B).

Outro impacto resultante das actividades antrópicas é a consequente desflorestação. É bem visível em algumas áreas do concelho o resultado destas actividades, principalmente, a S da Freguesia de Várzea da Serra, uma área alvo de desflorestação total. A remoção dos pinheiros adultos deixou o solo completamente desprotegido, um factor que pode favorecer a erosão hídrica. É de referir que na área de estudo tem-se posto em prática algumas campanhas de reflorestação com espécies autóctones, na tentativa de repor a vegetação natural, no entanto, muitas dessas árvores plantadas não sobreviveram, persistindo assim o problema da falta de protecção do solo.

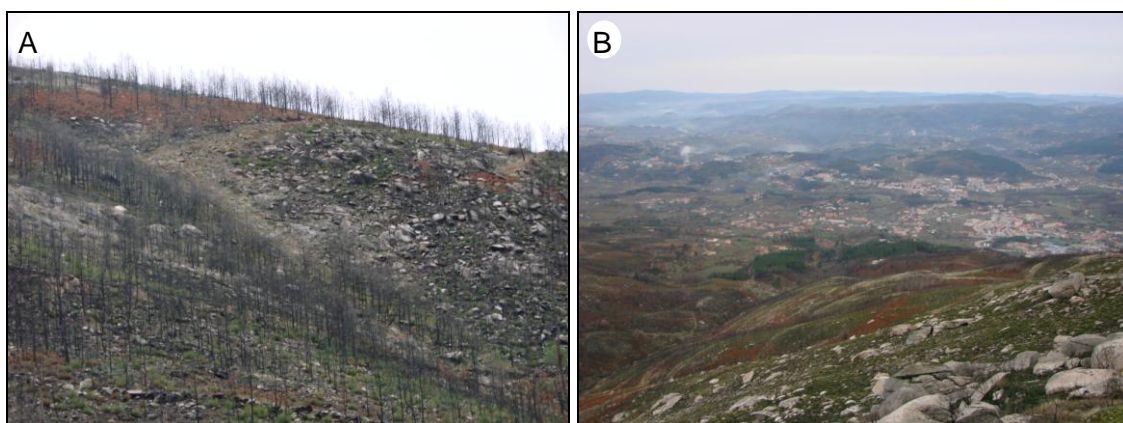


Figura 4.3. Cobertura das vertentes da Serra de Santa Helena.

Correspondendo a Figura 4.3-A, corresponde a uma vertente da serra alvo de um incêndio recentemente, com vestígios de erosão hídrica. A Figura 4.3-B ao sector montante da serra, onde se pode observar a cobertura vegetal (herbácea) e os afloramentos de granito, observando-se, ainda, nas áreas mais distantes pequenas manchas de vegetação e fumo das queimadas em terrenos agrícolas. Nestas áreas pode observar-se também a elevada pedregosidade superficial resultante do transporte selectivo de partículas pela escorrência superficial.

Com esta abordagem demonstra-se a importância da DR na determinação da ocupação do solo, nomeadamente pela vegetação. Esta ferramenta permite avaliar a evolução espacial e temporal deste tipo de cobertura, determinar as áreas com maior impacto das actividades antrópicas e as consequências resultantes de algumas catástrofes como, por exemplo, os incêndios, considerado este conjunto de dados como fundamentais para a determinação de áreas com maior risco de erosão.

Porém, embora haja alguma disponibilização das imagens recolhida pelos satélites e, também, de “*software free*”, a aquisição desta informação de satélite para fins privados ainda requer um investimento avultado, o que condiciona a utilização desta ferramenta por alguns agentes que intervêm no ordenamento do território.

4. 2. APLICAÇÃO DA EUPS NO CONCELHO DE TAROUCA

Nos pontos seguintes apresenta-se os resultados obtidos no cálculo de cada factor da EUPS para a área de estudo. Apresenta-se, ainda, os resultados obtidos na determinação das características físicas do solo nas diferentes unidades pedológicas que integram esta área e a variação de biomassa entre o período máximo e mínimo vegetativo obtido através de imagens de satélite para a determinação do factor cobertura do solo.

4. 2. 1. FACTOR EROSIVIDADE (R)

Os dados de precipitação utilizados no cálculo deste factor são apenas das estações meteorológicas de Tarouca, Castro Daire e Mezio (Paiva), por um lado devido à proximidade destas com a área de estudo e, por outro, por apresentarem séries de dados contínuas de 51 anos hidrológicos (1944-1995) comuns às três estações meteorológicas.

A partir dos dados da precipitação das séries de 51 anos hidrológicos destas três estações meteorológicas, obteve-se a respectiva média mensal do índice de erosão (EI) e do factor R (Quadro 4.1), através do método apresentado por BERTONI e LOMBARDI NETO (1990). A precipitação média anual é mais elevada na estação do Mezio (Paiva) e mais reduzida em Tarouca.

Quadro 4.1. Precipitação média anual dos anos hidrológicos entre 1944 e 1995; média mensal do índice de erosão e factor erosividade.

	Precipitação média anual (mm)	Altitude da estação (m)	EI (MJ/ha mm)	R (MJ/ha - mm/ano)
Tarouca	1098,4	526	20,66	186,56
Castro D'aire	1606,9	584	26,19	236,54
Mezio (Paiva)	1960,0	611	31,64	285,75

Tal como na distribuição da precipitação, a variação da altitude a que as estações meteorológicas se encontram explica a variação da média mensal do índice de erosão, demonstrando-se desta forma, a forte influência desta condicionante física na distribuição da erosividade ($R^2=0,9593$). Assim, elaborou-se o modelo numérico de erosividade através da equação da recta de tendência (Fig. 4.4), conforme as orientações mencionadas por HENRIQUES (2009), considerando-se no x desta equação a altitude derivada do MNE.

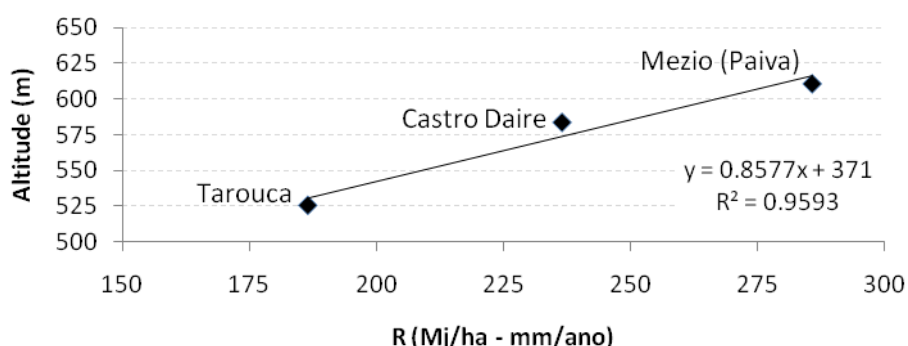


Figura 4.4. Relação entre a altitude das estações meteorológicas e o factor erosividade da chuva (R).

O modelo obtido traduz espacialmente a erosividade da chuva (Fig. 4.5), podendo verificar-se neste que as áreas de maior altitude sobressaem das restantes, por apresentarem valores superiores, destacando-se nestas a Serra de Santa Helena, com os valores mais elevados. Pelo contrário, o fundo dos vales apresentam valores inferiores, evidenciando-se o sector jusante do Vale do Varosa pelos valores mais reduzidos, devido ao efeito de abrigo proporcionado pelo relevo à precipitação.

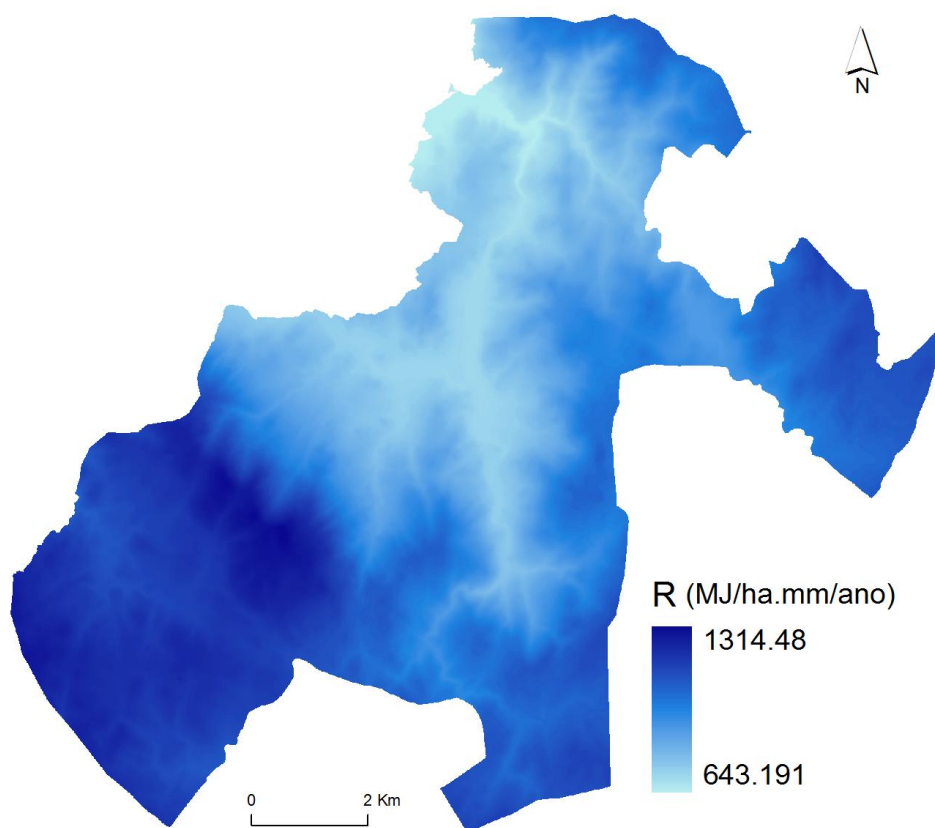


Figura 4.5. Distribuição do factor erosividade (R) no Concelho de Tarouca.

4. 2. 2. FACTOR ERODIBILIDADE (K)

Para a determinação deste factor, recolheram-se várias amostras de solo nas diferentes unidades pedológicas da área de estudo, posteriormente analisadas em

laboratório. Esta recolha incidiu em solos com diferentes ocupações, usos e condições topográficas (Quadro 4.2).

Quadro 4.2. Localização e características do local de recolha das amostras de solo.

Amostra de solo	Localização	Localização na vertente	Unidades Pedológicas	Características	Ocupação do solo
BM11GOV1	Gouviães (Corga) 41°03'03,63"N 7°45'27,74"W	Meia vertente	Antrossolos áricos terrácicos dístricos	(em áreas de granitos e rochas afins)	Vinha
BM11SAS2	Salzedas 41°03'15,69"N 7°42'56,13"W	Meia vertente	Antrossolos áricos terrácicos dístricos	(em áreas de xistos e rochas afins)	Pomar de sabugueiros
BM11DAV3	Dalvares 41°01'45,08"N 7°45'32,14"W	Meia vertente	Cambissolos dístricos órticos	(em áreas de granitos e rochas afins)	Vinha
BM11VIB4	Vilarinho 40°59'08,18"N 7°46'06,57"W	Meia vertente	Cambissolos úmbricos órticos	(em áreas de granitos e rochas afins)	Cultura de batata
BM11VSM5	Várzea da Serra 40°59'38,61"N 7°49'17,37"W	Área plana (fundo vale)	Cambissolos úmbricos órticos	(em áreas de xistos e rochas afins)	Mato
BM11DAL6	Dalvares (junto ao Rio) 41°01'44,54"N 7°45'22,37"W	Área plana (fundo vale)	Fluvisolos dístricos órticos	(em áreas de aluviões)	Pomar de macieiras
BM11GOV7	Gouviães 41°02'43,88"N 7°45'23,78"W	Meia vertente	Leptossolos dístricos órticos	(em áreas de granitos e rochas afins)	Vinha
BM11MEV8	Meixedo 41°03'17,48"N 7°42'46,61"W	Meia vertente	Leptossolos dístricos órticos	(em áreas de xistos e rochas afins)	Vinha
BM11EQI9	Eira Queimada 41°04'01,46"N 7°45'41,84"W	Meia vertente	Leptossolos líticos	(em áreas de granitos e rochas afins)	Inculto
BM11SHP10	Serra de Santa Helena 41°00'00,67"N 7°47'28,51"W	Meia vertente	Leptossolos úmbricos	(em áreas de granitos e rochas afins)	Mato e pinhal
BM11VSI11	Várzea da Serra 40°58'43,96"N 7°48'27,27"W	Meia vertente	Leptossolos úmbricos	(em áreas de xistos e rochas afins)	Inculto

Pelos resultados obtidos em laboratório, verificou-se que os solos existentes na área de estudo têm características físicas muito distintas entre as várias unidades pedológicas. A percentagem de sedimentos superior a 2mm sobressai nas áreas mais elevadas, correspondente aos Leptossolos úmbricos e Leptossolos dístricos órticos em áreas de granitos e rochas afins (e. g. Serra de Santa Helena e Vilarinho), enquanto a percentagem de sedimentos finos, nomeadamente da argila, é superior nas áreas mais planas e de menor altitude, coincidentes com as unidades pedológicas localizadas em

áreas de xisto e rochas afins (Quadro 4.3). Pelos dados apresentados constatou-se que todos os solos têm elevada percentagem de sedimentos finos e MO.

Quadro 4.3. Características físicas de cada tipo de solo.

Unidades Pedológicas	Características	Granulometria (%)					MO (%)	Estrutura	Permeabilidade	K (SI)	K (métricas)
		Cascalho e outros	Areia grossa	Areia fina	Limo	Argila					
		>2 mm	0,1 - 2 mm	0,05 - 0,1 mm	0,002 - 0,05 mm	0 - 0,002 mm					
Antrossolos áricos terrácicos dístricos	(em áreas de granitos e rochas afins)	15,2232	53,5668	3,5234	0,1771	23,8609	3,64	2	5	0,008	0,078
Antrossolos áricos terrácicos dístricos	(em áreas de xistos e rochas afins)	12,9411	23,5823	3,459	0,1108	54,159	5,74	2	6	0,010	0,098
Cambissolos dístricos órticos	(em áreas de granitos e rochas afins)	7,9956	48,4873	0,6817	0,0323	38,2237	4,57	1	5	0,002	0,020
Cambissolos úmbricos órticos	(em áreas de granitos e rochas afins)	19,2415	29,0332	0,5785	0,1081	45,2494	5,78	2	6	0,010	0,098
Cambissolos úmbricos órticos	(em áreas de xistos e rochas afins)	6,8226	45,7171	0,6235	0,1477	41,3437	5,34	1	5	0,002	0,020
Fluvisolos dístricos órticos	(em áreas de aluviões)	8,9941	37,3846	0,293	0,0683	42,9413	10,3	2	6	0,010	0,098
Leptossolos dístricos órticos	(em áreas de granitos e rochas afins)	23,8578	36,9694	0,6393	0,1451	35,2534	3,13	3	6	0,014	0,137
Leptossolos dístricos órticos	(em áreas de xistos e rochas afins)	1,6361	29,3102	1,4677	0,2439	63,7297	3,61	2	6	0,010	0,098
Leptossolos líticos	(em áreas de granitos e rochas afins)	9,3793	49,5821	0,4091	0,0529	37,4924	3,08	2	4	0,003	0,029
Leptossolos úmbricos	(em áreas de granitos e rochas afins)	40,2853	44,8925	0,3689	0,1323	11,5686	2,75	3	6	0,014	0,137
Leptossolos úmbricos	(em áreas de xistos e rochas afins)	3,7520	14,8278	0,297	0,1354	63,0394	17,9	1	6	0,006	0,059

Relativamente à percentagem da MO também se verificou grande variação entre as unidades pedológicas localizadas em áreas de granitos e as unidades pedológicas localizadas em áreas de xisto e rochas afins, destacando-se estas últimas com os valores mais elevados. Contudo, verifica-se maior variação em função da

ocupação do solo, sobressaindo as áreas de pinhal nos Leptossolos úmbricos em áreas de xisto com 17,9% de MO do total da amostra de solo, comparativamente às áreas mais desprotegidas como por exemplo a Serra de Santa Helena, com apenas 2,75%. Os Leptossolos úmbricos em áreas de xistos e rochas afins destacam-se pelo elevado teor de MO (17,9%) considerando-se estes como os solos com melhores características de fertilidade e os mais favoráveis ao desenvolvimento de actividades agro-florestais, destacando-se as áreas a SW da Freguesia de Várzea da Serra e o sector a N da Serra de Santa Helena. Por estas características, também se destacam os Fluvisolos dístricos órticos, correspondentes às áreas de aluviões no Vale do Varosa, área aproveitadas para o desenvolvimento de culturas de regadio.

Com a determinação de todos os factores que integram o parâmetro K procedeu-se ao seu cálculo. Os resultados obtidos deste parâmetro introduziram-se na tabela de atributos da *shape file* dos solos, representados espacialmente no mapa da Figura 4.6.

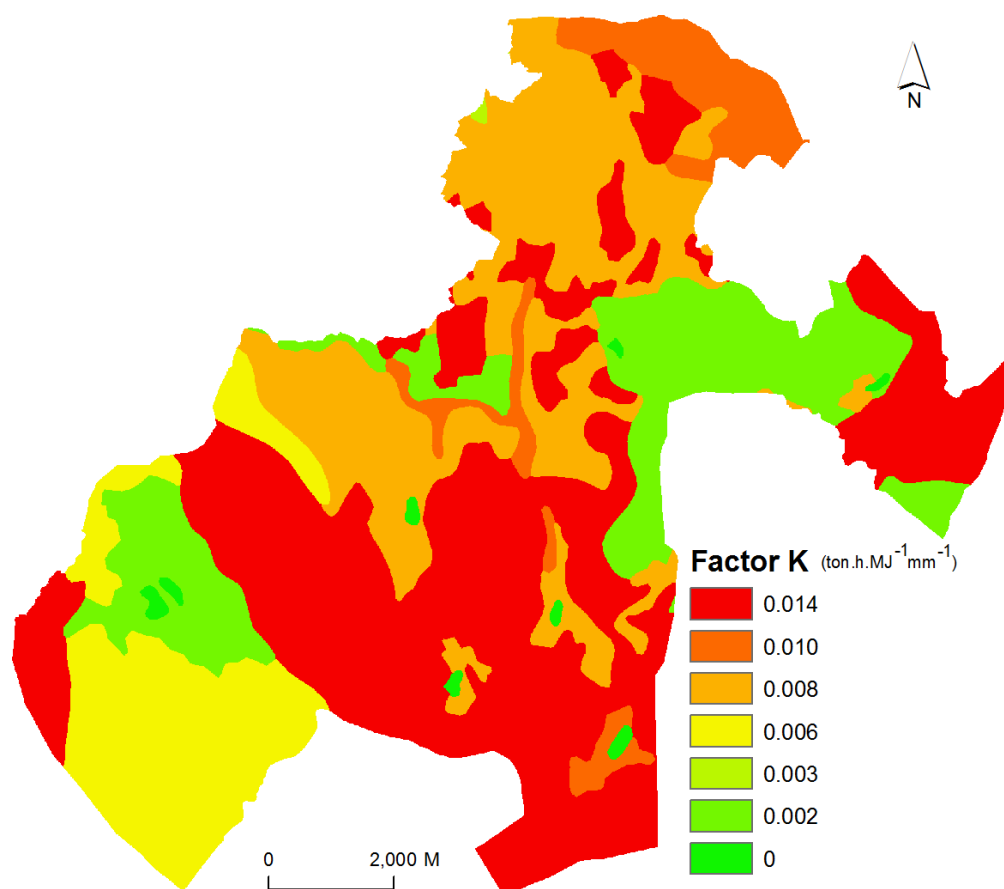


Figura 4.6. Distribuição do factor erodibilidade (K) no Concelho de Tarouca.

No geral, verificou-se que os valores obtidos para as várias unidades pedológicas são relativamente reduzidos admitindo a sua variação na escala de K em unidades SI (0 – 0,10).

Os valores de K mais elevados destacam-se na Serra de Santa Helena, na Freguesia de São João de Tarouca, nas áreas mais elevada da Freguesia de Vila Chã da Beira e em pequenas áreas no Vale do Varosa (Dalvares, Ucanha e Salzedas). Pelo contrário, os valores mais reduzidos sobressaem nas unidades de Cambissolos dístricos órticos nas áreas de granitos e rochas afins (Granja Nova, parte da Freguesia de Vila Chã da Beira, sector a E de Mondim da Beira e algumas áreas entre Dalvares e Castanheiro do Ouro) e nos Cambissolos úmbricos órticos em áreas de xistos (Várzea da Serra). O valor 0 na Figura 4.6 representa as áreas urbanas, áreas não consideradas para esta análise.

4. 2. 3. FACTOR TOPOGRÁFICO (LS)

Os resultados obtidos no cálculo deste factor, quando representados espacialmente (Fig. 4.7), evidenciam as vertentes da Serra de Santa Helena voltadas para Tarouca, as vertentes do Vale do Varosa na Freguesia de São João de Tarouca e as vertentes do Monte Raso, com os valores mais elevados. Estas vertentes são extensas e têm forte declive, como referido anteriormente, factores que justificam os valores elevados deste parâmetro nestas áreas.

Nas áreas xistentas mais elevadas que compreendem a designada superfície fundamental há predominância de cabeços arredondados com vertentes relativamente pequenas e de fraco declive, havendo, também, algumas áreas planas. Estas condições traduzem os reduzidos valores de LS nestas áreas. O fundo dos vales, em particular do Vale do Varosa e do Vale da Ribeira de Tarouca entre Mondim da Beira e Dalvares, também evidenciam valores reduzidos, por apresentarem valores reduzidos nos factores considerados no cálculo de LS.

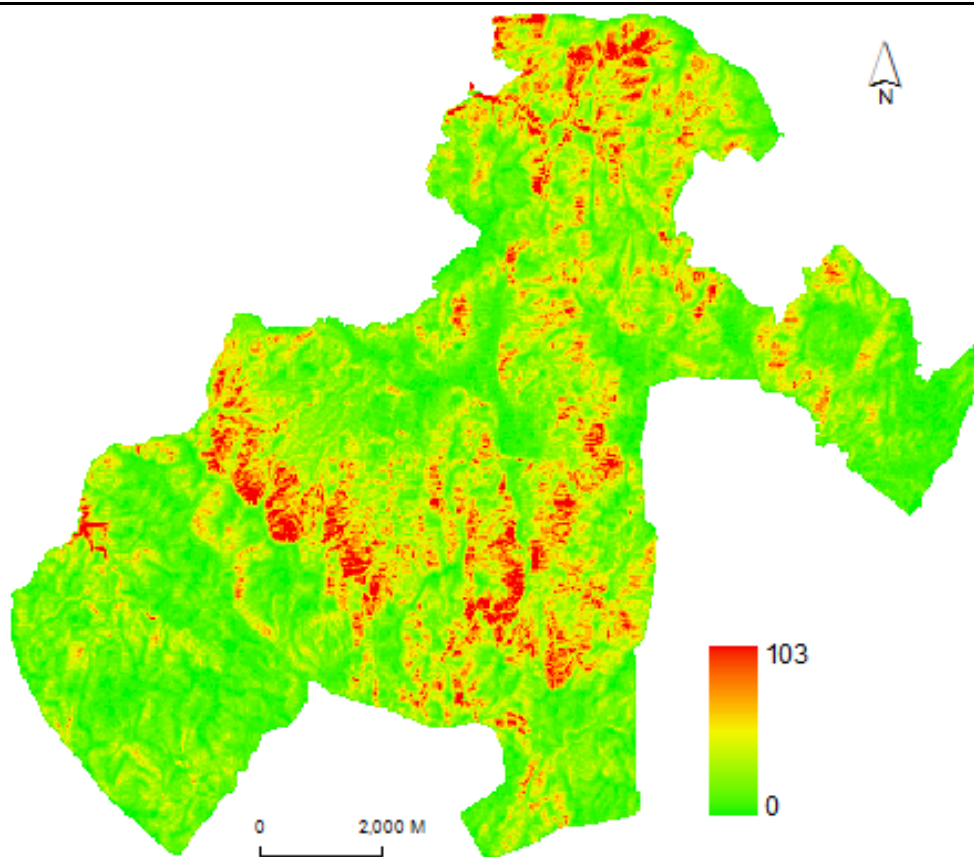


Figura 4.7. Factor topográfico (LS).

4. 2. 4. FACTOR COBERTO DO SOLO (C)

O resultado obtido do índice de variação de biomassa (VB), traduz as áreas com maior variação de biomassa entre no período considerado, verificando-se que as manchas com índice mais elevado são coincidentes com a área correspondente à unidade pedológica dos Cambissolos úmbricos órticos, utilizadas para a agricultura de regadio (Fig. 4.8-A). Estas áreas destacam-se, também, no mapa elaborado com os valores do factor C obtido a partir da COS'90 e da CLC'06, observando-se neste mapa, valores elevados nas áreas correspondentes ao fundo de Vale do Varosa (Fig. 4.8-B), com destaque para o seu sector jusante. Neste vale as áreas correspondentes aos Fluvissois dístricos órticos, apresenta valores elevados, em função da prática de culturas de regadio.

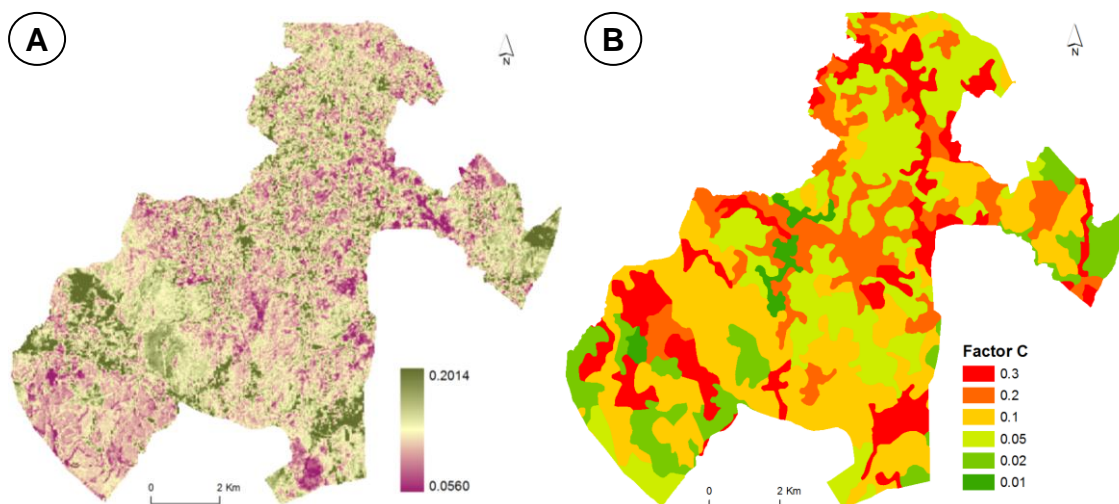


Figura 4.8. Dados utilizados na determinação do Factor C final.

Correspondendo a Figura 4.8-A ao índice de variação de biomassa (VB) entre Outubro de 2009 e Abril de 2010 e a Figura 4.8-B ao Factor C obtido a partir da COS'90 e da CLC'06 conforme PIMENTA, 1998a e TOMÁS, 1993.

Da média entre os valores do factor C obtido a partir da COS'90 e da CLC'06 com o índice VB, resultou o factor C (Fig. 4.9) a considerar no cálculo da erosão específica (EUPS). Os valores mais reduzidos representam as áreas mais protegidas, enquanto os mais elevados, representam as áreas mais susceptíveis à erosão hídrica, por estarem mais desprotegidas devido fraco coberto do solo presente.

As áreas com valores C mais elevados correspondem ao Vale do Varosa (áreas de aluviões), com maior destaque para o seu sector terminal e às áreas de maior variação de biomassa (unidade pedológica dos Cambissolos úmbricos órticos). Estes resultados são muito coincidentes com as áreas agrícolas de uso intensivo, muitas delas localizadas no fundo deste vale e, também, na área de Várzea da Serra. A Serra de Santa Helena, parte das freguesias de São João de Tarouca e de Vila Chã da Beira, também se destacam pelo reduzido coberto vegetal, embora com valores inferiores face às áreas anteriormente mencionadas, verificando-se nestes locais elevada variação do índice de vegetação entre o mínimo e o máximo vegetativo.

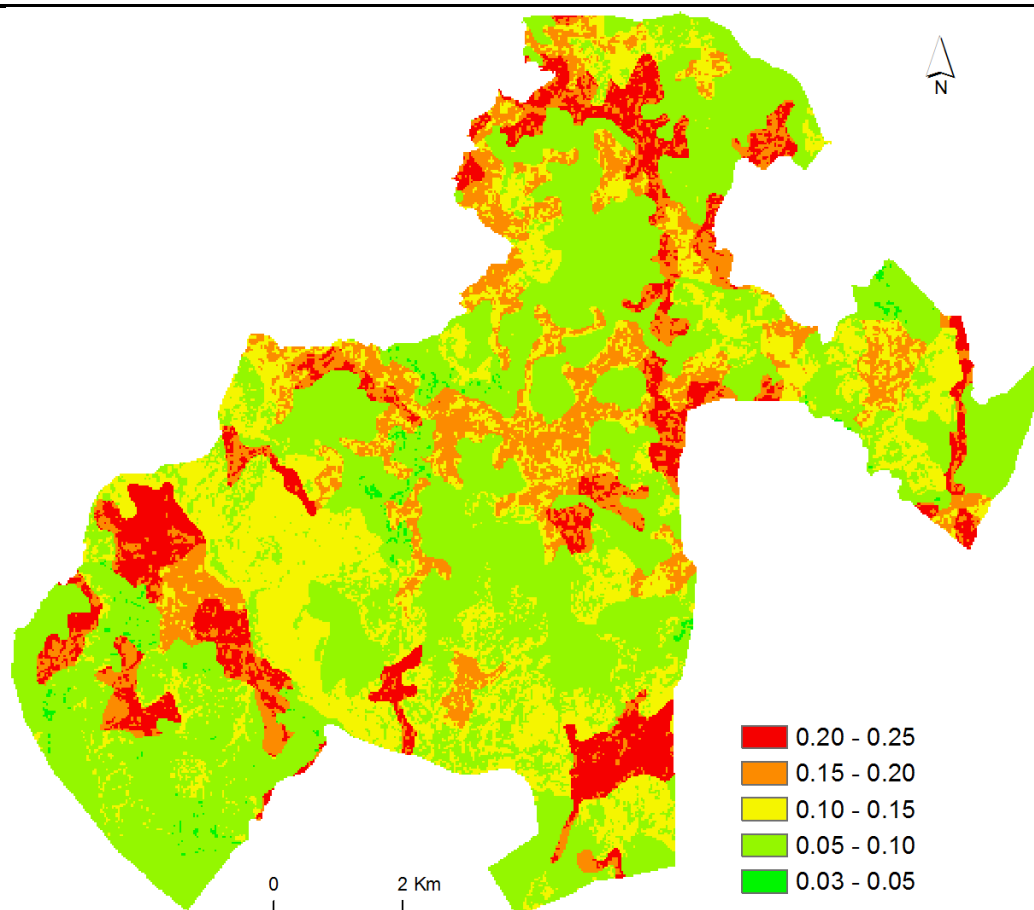


Figura 4.9. Factor de coberto do solo (C).

As áreas com maior protecção pela vegetação sobressaem na Freguesia de Várzea da Serra (áreas localizadas a SW e a S) e nas áreas sem intervenção antrópica (pinhal, matos, entre outros). As áreas agrícolas abandonadas também se destacam com valores reduzidos do factor C em detrimento do avanço da vegetação natural (maioritariamente arbustiva).

4. 2. 5. FACTOR PRÁTICA AGRÍCOLA (P)

No mapa deste factor (Fig. 4.10) as vertentes do sector jusante do Vale do Varosa, em conjunto com as vertentes do Vale do Rio Torno (Salzedas), destacam-se das restantes áreas ao apresentarem os valores mais elevados do factor P. Nestas áreas, as culturas predominantes são o olival e a vinha praticadas em vertentes com

declive acentuado, factor que explica os elevados valores deste factor nestes locais. Já nas áreas do sector intermédio e a montante do vale do Varosa, o factor P é mais reduzido, por se tratar de culturas em terraços, com fracos declives.

As áreas agrícolas de Várzea da Serra também se destacam com valores elevados, derivado das culturas em faixa e ao longo de curvas de nível dos cabeços xistentes presentes nestas áreas e nas áreas de menor declive (maioritariamente áreas regularizadas antropicamente). A N da Freguesia de Tarouca (junto à Ribeira de Tarouca) e em determinadas áreas da Freguesia de São João de Tarouca este tipo de culturas também é predominante, daí os valores de P elevados.

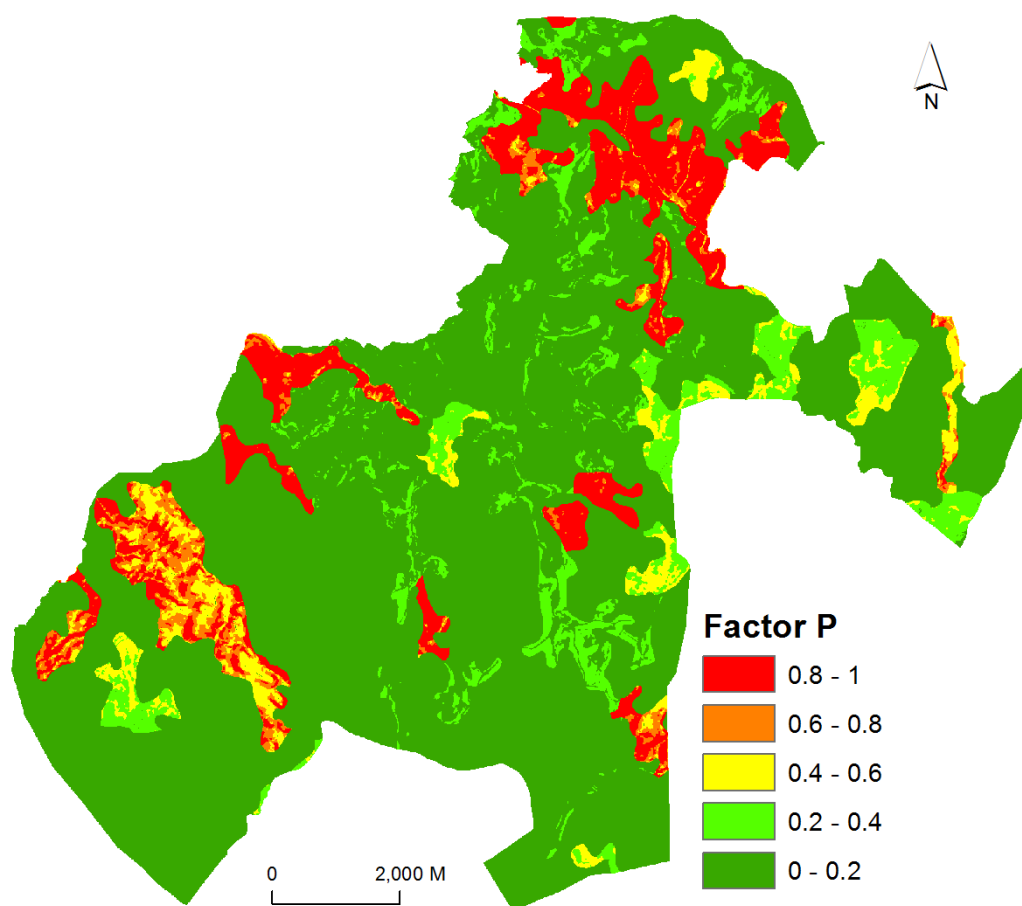


Figura 4.10. Factor prática agrícola (P).

4. 3. EROSÃO HÍDRICA POTENCIAL

Na avaliação da erosão hídrica potencial pressupõe-se a determinação da perda de solo que poderá ocorrer em áreas com solos de determinadas características físicas (erodibilidade), em função de determinados factores climáticos (erosividade) e topográficos (declive das vertentes e seu comprimento), excluindo-se desta avaliação as práticas agrícolas e o factor protecção ou coberto do solo da vegetação. Assim, na determinação da erosão hídrica potencial considerou-se apenas os factores R, K e LS e excluiu-se os factores C e P por serem dinâmicos e inconstantes ao longo do ano, com forte intervenção antrópica, de fácil modificação.

Recorrendo ao ArcGIS 9.3, procedeu-se ao respectivo cálculo destes três factores, do qual resultou o mapa com as áreas susceptíveis à erosão hídrica. Este mapa foi reclassificado em 5 classes tendo em conta a quebra natural dos valores de erosão hídrica obtidos pela multiplicação dos factores anteriormente referidos em formato *raster* (Quadro 4.4), resultando o mapa apresentado na Figura 4.11. Este traduz as áreas mais susceptíveis à erosão hídrica potencial.

Quadro 4.4. Classificação da susceptibilidade à erosão hídrica potencial.

Erosão potencial (classificação qualitativa)	Scores	Área (%)
Muito elevada	618,06 - 1758,03	1,95
Elevada	288,42 - 618,06	7,04
Moderada	96,14 - 288,42	22,42
Reduzida	0,00001 - 96,14	67,90
Nula (área urbana)	0	0,69

As áreas com susceptibilidade à erosão hídrica dominantes no concelho são da classe reduzida e moderada (67,90 e 22,42%, respectivamente). As classes de susceptibilidade superior compreendem uma área bastante significativa (8,99% da área total), subdividida em 7,04% da classe elevada e 1,95% de susceptibilidade muito elevada.

As vertentes da Serra de Santa Helena com exposição a NE destacam-se como áreas de muito elevada susceptibilidade à erosão hídrica, em conjunto com algumas vertentes do Monte Raso e do Vale do Varosa na Freguesia de São João de Tarouca. Estas vertentes são bastante íngremes e têm um comprimento considerável face às restantes que integram a área de estudo. Estas áreas coincidem com as áreas do factor LS mais elevado (Fig. 4.7), sendo estas caracterizadas pelo elevado declive e comprimento das vertentes, uma semelhança que denuncia a importância do factor topográfico no controlo dos resultados da erosão hídrica, onde os Factores R e K também se destacam com valores elevados, visto serem áreas de maior altitude associadas a elevada precipitação, compostas por solos de baixo teor em MO e reduzida percentagem de argila.

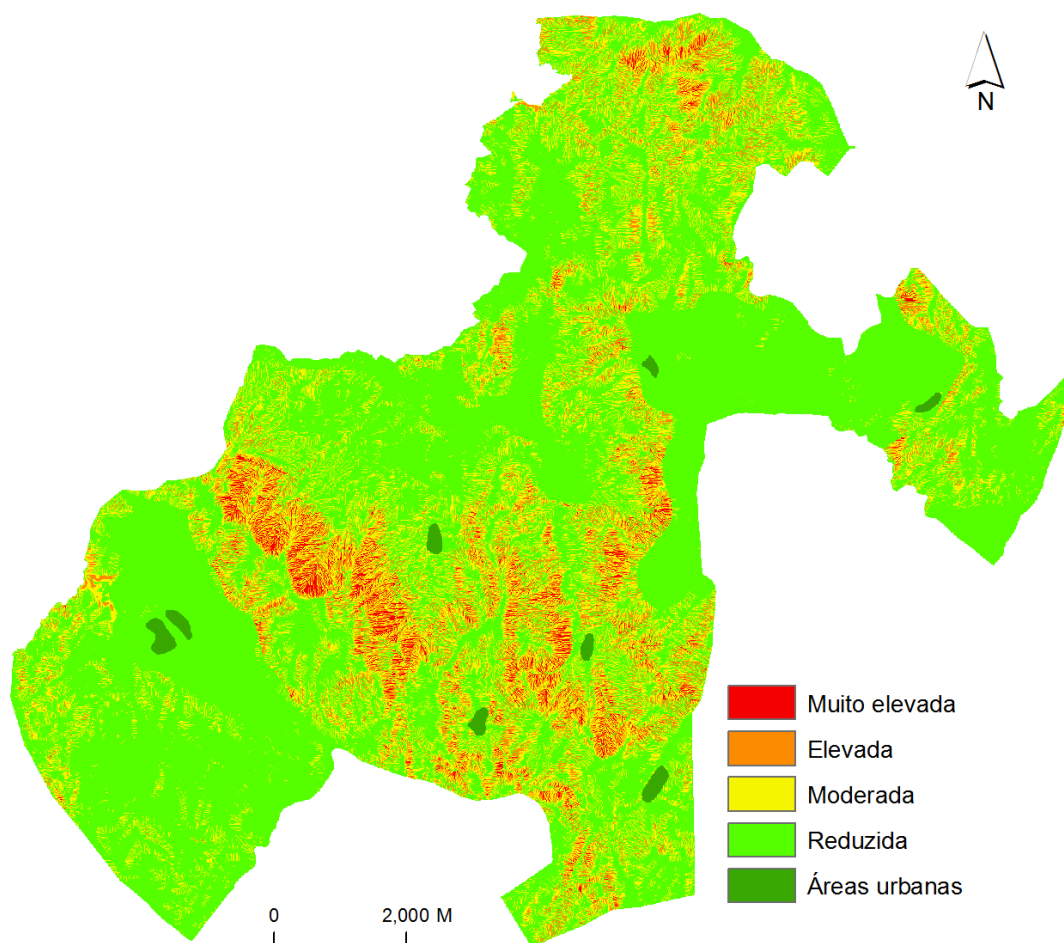


Figura 4.11. Susceptibilidade à erosão hídrica potencial no Concelho de Tarouca.

Este é um mapa muito utilizado em acções de planeamento do território (e.g. Reserva Ecológica Nacional), pois traduz a perda potencial do solo e não a erosão real (que ocorre num determinado momento sob determinadas condições de cobertura do solo e práticas agrícola). No entanto, este mapa construído apenas com base no factor topográfico, erodibilidade dos solo e a erosividade da precipitação, considerando as vertentes sem qualquer tipo de actividade antrópica e cobertura vegetal, deve ser equacionado, porque no planeamento do território deve ter-se em conta o uso a dar ao território, considerando todos os factores presentes, nos quais se inclui o uso do território e o seu coberto.

4. 4. EROSÃO HÍDRICA REAL

A erosão hídrica real é a que ocorre efectivamente na área de estudo perante as condições actuais de ocupação e uso do território. Em comparação com a erosão potencial observa-se que os resultados da erosão real são bastante reduzidos (média de 103,99 e 3,59 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente), conforme se pode observar no Quadro 4.5. Neste quadro apresenta-se, também, a síntese de todos os factores que originaram estes resultados, destacando-se o factor R com os valores mais elevados (média de 1020,28 MJ/ha.mm/ano), seguindo-se os factores LS, P, C e K (média de 10,25, 0,17, 0,11 e 0,009, respectivamente nas unidades correspondentes). Considerando a cobertura do solo e as práticas agrícolas, a estimativa da perda de solo é bastante reduzida, relevando-se importante a implementação destes factores na determinação real da erosão hídrica.

Quadro 4.5. Síntese dos factores da EUPS e dos resultados da erosão potencial e real.

	Factores da EUPS					Erosão potencial	Erosão real
	R	K	LS	C	P		
Mínimo	643,19	0,001	0,10	0,03	0,01	0,01	0,01
Máximo	1314,48	0,014	103,10	0,25	1,00	1758,04	311,47
Média	1020,28	0,009	10,25	0,11	0,17	103,99	3,59
Desvio Padrão	151,93	0,004	12,26	0,05	0,29	153,09	11,25

A distribuição da perda de solo real anual é bastante diferenciada no Concelho de Tarouca (Fig. 4.12), destacando-se as vertentes mais declivosas com maior perda, em oposição às áreas de fraco declive, com valores muito reduzidos. Todas estas vertentes têm em comum o forte declive e o longo comprimento, evidenciando-se, também, o reduzido coberto vegetal (factor C) e o elevado factor P, na elevação dos valores de erosão hídrica.

As áreas com valores mais elevados de erosão real destacam-se no sector N da Serra de Santa Helena (Leptossolos úmbricos em áreas de xisto e rochas afins), nas vertentes do Monte Raso voltadas para o Rio Varosa e em algumas vertentes na Freguesia de Mondim da Beira.

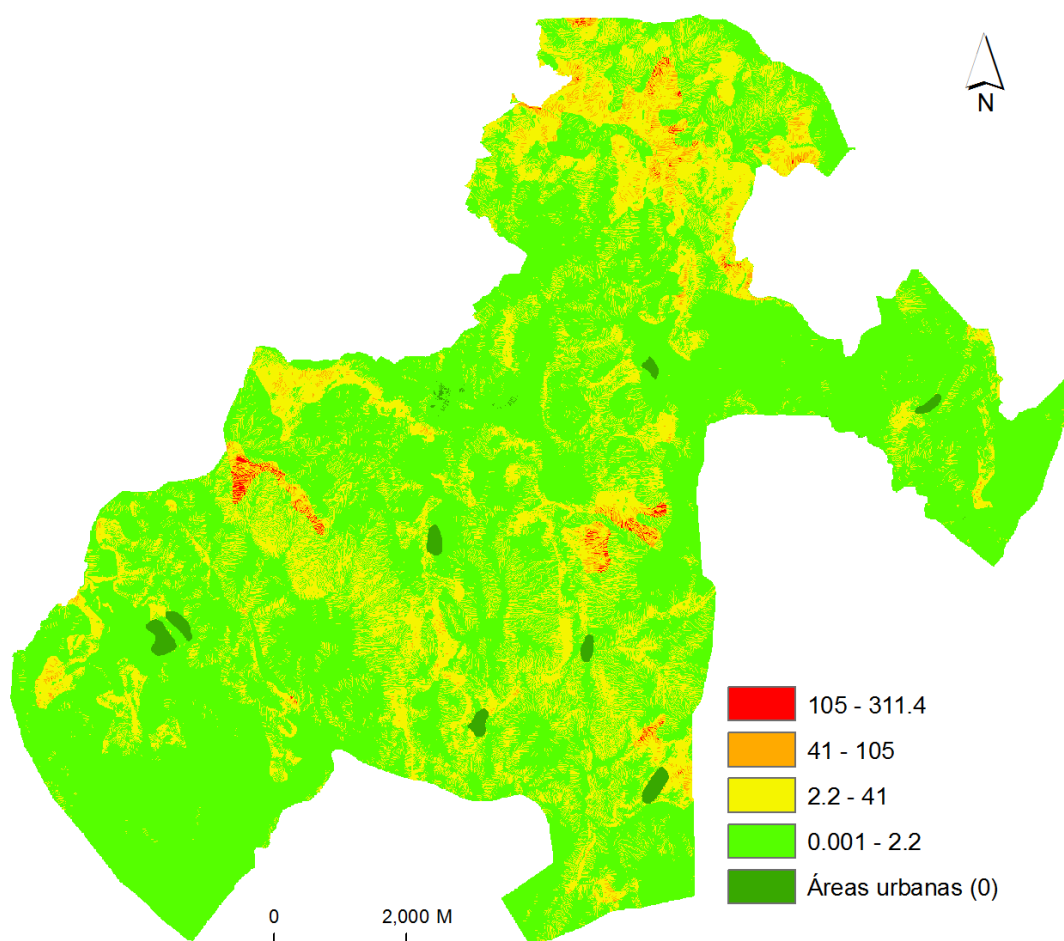


Figura 4.12. Estimativa da erosão específica (real) em ton.ha⁻¹.ano⁻¹.

Nesta abordagem destacam-se as áreas prioritárias na intervenção sobre a redução da perda de solo. Nesta intervenção pode considerar-se a adequação de práticas agrícolas ao tipo de solo presente, melhoria do coberto vegetal, regularização das vertentes pela redução do declive e seu comprimento, entre outros factores que proporcionem a minimização da quantidade de água que circula sobre as mesmas e, assim, a redução da erosão hídrica.

CAPÍTULO 5 - MONITORIZAÇÃO DA EROÇÃO HÍDRICA E A EUPS NO CONCELHO EM ESTUDO

5. 1. A PRECIPITAÇÃO E A EROÇÃO HÍDRICA DETERMINADA POR OBSERVAÇÃO DE QUADRADOS PINTADOS E ESTACAS GRADUADAS COLOCADOS NO SOLO

Numa primeira análise aborda-se os valores de precipitação, medida no pluviómetro instalado no campo durante o período de monitorização. Segundo WISCHMEIER e SMITH (1978) só os acontecimentos pluviosos de 30 minutos com mais de 12,5mm devem ser considerados no cálculo do índice de erosividade, por serem os que têm maior capacidade erosiva dos solos agrícolas. Neste caso não foi possível fazer esta análise da precipitação, por não se ter registos horários da mesma, considerando-se apenas a precipitação diária para posterior comparação com os resultados obtidos nos quadrados pintados no solo e nas estacas.

Nestes dados verifica-se três períodos de precipitação mais elevada (Fig. 5.1). O primeiro episódio destaca-se a 21 de Dezembro com cerca de 28mm de precipitação diária, já o segundo está compreendido entre 5 e 8 de Janeiro com o total de 93mm, destacando-se o dia 7 com 40mm e, um terceiro período entre 13 e 18 de Fevereiro, com o total de 114mm, sobressaindo-se o dia 15 com 29mm.

Devido aos dias de trabalho de campo, onde se registou os dados de erosão ou acumulação de sedimentos junto às estacas e monitorização dos quadrados pintados, individualizaram-se três períodos conforme a Figura 5.1. O período A está compreendido entre o dia 1 e 24 de Dezembro de 2010; o período B entre o dia 25 de Dezembro e 23 de Janeiro de 2011 e o período C entre 24 de Janeiro e 30 de Maio do mesmo ano.

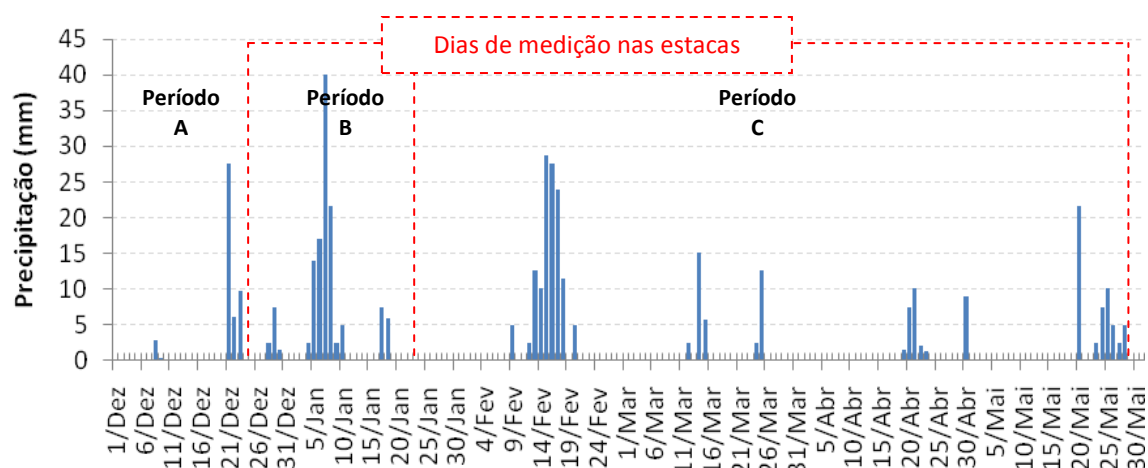


Figura 5.1. Precipitação registada no pluviómetro instalado no campo durante o período de monitorização da erosão hídrica (01/12/2010 e 30/05/2011).

As estacas e os quadrados pintados no solo foram distribuídos por áreas com diferentes ocupações (Fig. 5.1). Relativamente às estacas estas inseriram-se em vertentes com diferentes exposições (SE e NW) de forma aperceber a influência deste factor na erosão hídrica dos solos, registando-se a sua posição com recurso a GPS. Nas vinhas, devido às formas antrópicas no solo (sulcos), fez-se a monitorização em várias áreas com diferente disposição ao longo da vertente (paralela ou perpendicular).

Quadro 5.1. Ocupação do solo e características dos locais seleccionados para monitorização da erosão hídrica por estacas graduadas.

Estaca	Ocupação do solo	Tipo de ocupação	Altitude (m)	Características da vertente	
				Exposição	Declive (%)
A1	Vinha (paralela à vertente)	Cultura perene	522,7	SE	8
O2	Olival	Cultura perene	516,5	SE	7
C2	Cultura de cereais (trigo)	Cultura perene	514,1	SE	5
M3	Mato (giestas)	Floresta	511,2	SE	10
F4	Pinhal	Floresta	496,7	SE	6
EA	Pomar (sabugueiros)	Cultura perene	524,4	NW	4
EB	Pomar (cerejeiras)	Cultura perene	524,0	NW	4
EC	Vinha (perpendicular à vertente)	Cultura perene	523,2	NW	8
ED	Cultura mista (vinha e olival)	Cultura perene	520,6	NW	7
EE	Vinha (paralela à vertente)	Cultura perene	513,8	NW	8
EF	Inculto	Inculto	510,1	NW	6

Para cada área onde se fixou as estacas, recolheu-se uma amostra de solo, como já foi referido, posteriormente analisada em laboratório, obtendo-se os

resultados apresentados no Quadro 5.2. A cada amostra foi-lhe atribuído a mesma designação da estaca para melhor identificação do tipo de ocupação do solo.

Quadro 5.2. Características físicas do solo nos locais onde se realizou a monitorização da erosão hídrica por estacas e quadrados pintados.

Amostra de solo	Granulometria (%)					MO (%)	MO à superfície (%)
	Cascalho e outros	Areia grossa	Areia fina	Limo	Argila		
	>2 mm	0,1 - 2 mm	0,05 - 0,1 mm	0,002 - 0,05 mm	0 - 0,002 mm		
A1	15,4357	45,8348	3,3457	1,1785	31,7174	2,4879	2,9605
O2	13,2479	38,5518	1,9565	0,0842	43,9300	2,2296	2,6944
C2	17,5723	42,4357	0,8477	0,1924	36,3444	2,6076	3,0617
M3	16,9960	43,1217	1,3605	0,1864	29,7162	8,6192	12,1900
F4	8,5374	33,6989	2,3673	0,0729	36,5770	18,7464	37,3619
EA	17,8038	39,5489	1,1153	0,1207	39,2073	2,2040	2,5566
EB	30,0030	38,6916	1,1334	0,1271	27,2935	2,7514	3,3200
EC	16,0287	32,5170	1,0455	0,1020	46,7642	3,5426	4,4086
ED	17,7880	32,3719	0,8851	0,0688	43,9598	4,9264	6,2121
EE	29,8924	30,2726	0,9822	0,0756	36,9986	1,7786	2,0162
EF	19,3632	38,0495	1,1262	0,0589	35,7434	5,6588	7,8073

Pelos resultados destas análises, verifica-se que as áreas com intervenção antrópica (cultivadas) apresentam maior percentagem de sedimentos grosseiros e reduzida percentagem em MO, face às áreas sem intervenção e com vegetação natural. Destes, destaca-se as áreas de pinhal e de mato arbustivo pela elevada percentagem de MO no solo, ao contrário dos solos ocupados por vinhas e olival, com reduzido teor.

A variação da percentagem de MO entre a amostra de solo recolhida até cerca de 0,5cm de profundidade (superfície do solo) e a amostra em profundidade (cerca de 10cm) é muito elevada no solo ocupado por pinhal (cerca de 18,6%), embora o mato arbustivo e áreas de inculto, também se destaquem, mas com percentagens inferiores (cerca de 3,5 e 2,1%, respectivamente), conforme se pode observar na Figura 5.2. No conjunto das amostras de solo há sempre redução da percentagem de MO em profundidade, sendo esta menos significativa em áreas cultivadas. A elevada percentagem de MO à superfície na área de pinhal deve-se à presença de manta morta.

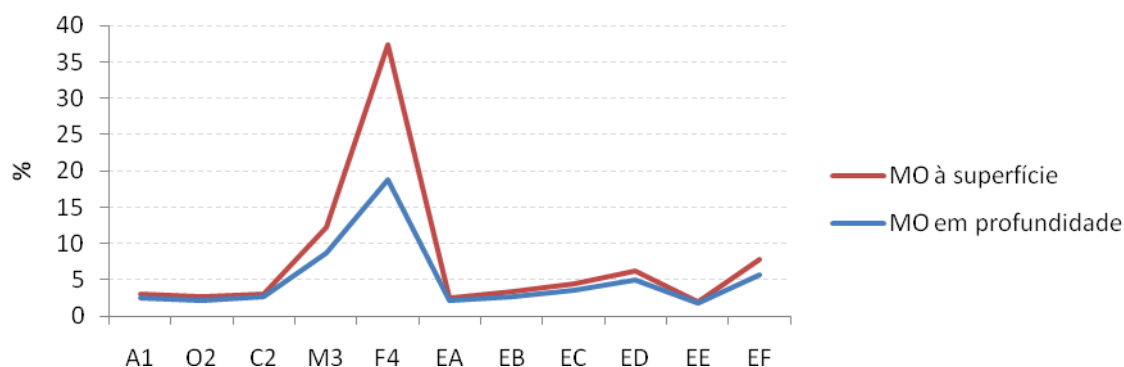


Figura 5.2. Variação da percentagem de MO entre a superfície do solo e em profundidade (cerca de 10cm) nas várias áreas monitorizadas.

A fraca percentagem de MO nas áreas agrícolas deriva das práticas agrícolas utilizadas no manejo destes solos e à falta de cobertura vegetal permanente. Geralmente, estes solos são lavrados ou alvo de outros processos de mobilização por máquinas agrícolas, permanecendo sem cobertura vegetal durante todo o ano, com excepção das árvores de fruto ali plantadas. Nestes casos evidenciam-se as áreas de pomar, olivais e vinhas. Quando não há intervenção mecânica na mobilização do solo, são utilizados pesticidas para a remoção da cobertura vegetal, deixando-o completamente exposto aos agentes erosivos.

Analisando a textura dos solos onde se fez a monitorização, verifica-se que todos os solos têm elevada percentagem de argila, com maior destaque para o solo ocupado por vinha (perpendicular à vertente), cultura mista de vinha e olival e só olival. Estes solos argilosos condicionam a infiltração da água, factor que proporciona maior escorrência superficial.

5. 1. 1. PELA OBSERVAÇÃO DE QUADRADOS PINTADOS NO SOLO

Estes quadrados estão localizados junto das estacas A1, O2, M3 e F4, de forma a observar a acção da precipitação nos solos com diferentes ocupações e comparar quais as áreas mais afectadas pela erosão hídrica.

De todas as áreas monitorizadas, verificou-se maior erosão no olival e nas áreas de mato arbustivo. Esta constatação pode observar-se na Figura 5.3, ao verificar-se que após 24 dias da pintura dos quadrados no solo a maioria da tinta foi removida.

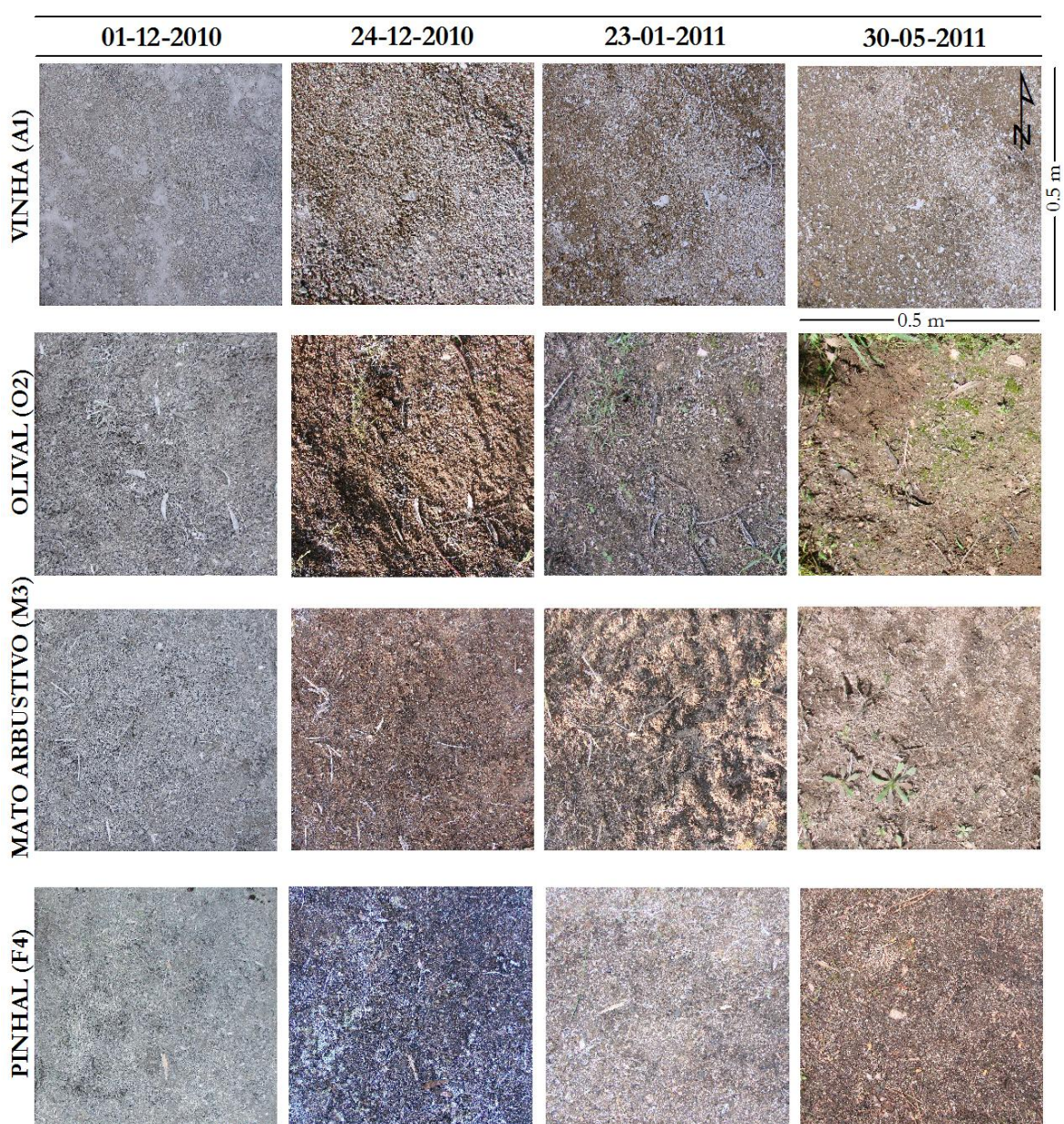


Figura 5.3. Monitorização da erosão hídrica do solo em áreas com diferentes ocupações do solo através quadrados pintados.

No quadrado pintado no olival verifica-se no decorrer do período de monitorização o surgimento à superfície de pequenas rochas aqui enterradas em consequência da remoção dos sedimentos na superfície; já no do mato arbustivo, pode observar-se pequenos sulcos após os episódios de maior precipitação (período B) e a “aplanação” dos mesmos no final do período (30 de Maio).

Nos quadrados pintados em área de pinhal observa-se a perda gradual da cor branca da tinta ao longo de todo o período de monitorização. Estas áreas contêm elevada quantidade de musgos e líquenes, elementos que proporcionam maior absorção da água e a sua infiltração (Fig. 5.4), propiciando a redução da erosão hídrica pela redução do escoamento superficial.

Na vinha plantada paralelamente à vertente (A1) é onde se observa menor erosão, sendo o único quadrado com vestígios de tinta no final do período de monitorização. O solo nesta área tem menor quantidade de argila e maior percentagem de areia grossa, em comparação com os restantes, factor que proporciona a infiltração da água e a redução do escoamento.



Figura 5.4. Humidade do solo em profundidade na área ocupada por pinhal (24-12-2010).

5. 1. 2. PELA OBSERVAÇÃO DE ESTACAS GRADUADAS COLOCADAS NO SOLO

Com excepção dos dados recolhidos das estacas A1 e EE, em todas as áreas monitorizadas verificou-se erosão, com maior destaque para o período de monitorização A referido anteriormente. Neste período houve bastante erosão junto destas estacas conforme se pode verificar pela observação da Figura 5.5. Nos períodos de monitorização B e C a erosão foi menos significativa, embora no período B se tenha registado os valores de precipitação diária mais elevada. Neste caso seria necessário obter a intensidade de precipitação de forma a comparar os resultados de erosão obtidos nos diferentes períodos e perceber os valores mais elevados de erosão no primeiro período em relação ao segundo.

Foi junto da estaca EC (vinha plantada perpendicularmente ao sentido de inclinação da vertente) que se registou valores mais elevados de erosão (rebaixamento de 1,06cm em relação à posição inicial), seguindo-se as áreas de cultura de trigo (C2) com 0.91cm de rebaixamento, áreas de inculto (EF) com 0.88cm, áreas de mato arbustivo (M3) com 0.83cm e, assim consecutivamente, como representado na Figura 5.5. Nestes solos a percentagem de argila é elevada, facto que explica os elevados valores de erosão, processo derivado do aumento da escorrência em detrimento da fraca capacidade de infiltração da água pelos mesmos.

Nas áreas onde se localizam as estacas A1 e EE (vinhas plantadas paralelamente ao sentido de inclinação da vertente) registou-se a acumulação de sedimentos junto de cada estaca, indicando este resultado a presença de erosão a montante destas. No entanto, na primeira estaca verifica-se a acumulação gradual ao longo de todo o período de monitorização, enquanto na segunda, a acumulação ocorreu apenas no primeiro período de precipitação (A), registando-se erosão nos seguintes.

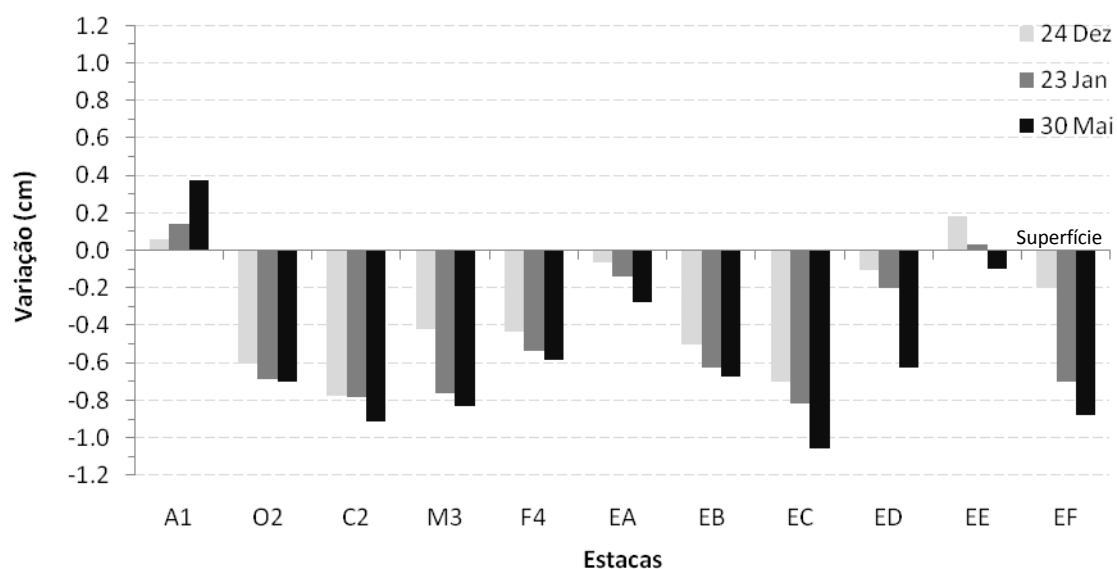


Figura 5.5. Erosão e acumulação de sedimentos medido junto às estacas durante o período de monitorização (início a 01/12/10). Erosão nas estacas onde se registou rebaixamento (valores negativos) e acumulação ou acreção de sedimentos nas estacas com valores positivos.

Através de algumas estacas verificou-se os efeitos das gotas de chuva na movimentação de sedimentos. Estes efeitos são mais visíveis nas estacas A1 e C2, após o primeiro episódio de maior precipitação (21 de Dezembro), ao constatar-se a presença de sedimentos “colados” apenas num sector da estaca (ENE). Esta agregação verificou-se no sector mais abrigado das estacas e deve-se ao movimento das partículas causado pelo impacto das gotas de chuva no solo (Fig. 5.6). Estas partículas, em conjunto com os salpicos resultantes do impacto das gotas, foram projectadas até cerca de 8 cm de altura, valores medidos *in loco* em algumas estacas (A1, EA e ED). A presença de sedimentos apenas de um lado da estaca indica, também, a direcção das gotas da chuva, ou seja, estas provêm no sentido do sector da estaca onde não há presença de sedimentos (ausência derivada do constante impacto das gotas sobre a estaca no sector mais exposto, daí a não agregação a barlavento) para o sector com presença de sedimentos, neste caso com a direcção OSO-ENE.

Estando estas estacas colocadas em áreas abertas, desprovidas de vegetação de grande porte no seu redor, a força do impacto das gotas de chuva no solo pode ser superior. Esta ausência de obstáculos traduz-se no aumento da velocidade de impacto

das gotas de chuva, por não haver interferência na velocidade e rumo do vento (FOULDS e WARBURTON, 2007). Estas áreas, por serem relativamente planas e com pouca rugosidade, favorecem o aumento da velocidade do vento, aumentando desta forma, a capacidade de destacamento e desagregação das partículas do solo existentes na unidade superficial aquando o impacto da gota e, consequentemente, o seu movimento para áreas mais distantes.

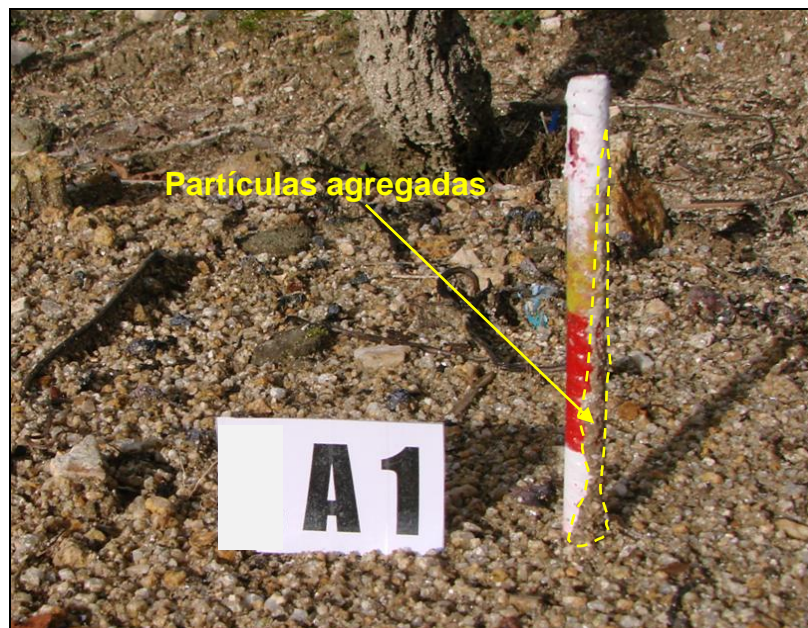


Figura 5.6. Estaca metálica com partículas de solo agregadas a sotavento, após um episódio de maior precipitação.

Nas vinhas as videiras encontram-se alinhadas, existindo ao longo destes alinhamentos sulcos antrópicos (prática habitual na área de estudo) para a colocação de fertilizantes. Estas formas proporcionam a deslocação dos sedimentos do sector mais elevado para estas depressões através da escorrência superficial, conforme a Figura 5.7, facto verificado *in loco* pela observação da trajectória dos sedimentos pintados provenientes de várias áreas pintadas nos sectores mais elevados destas formas. Estes permitiram perceber o sentido de deslocação dos sedimentos.

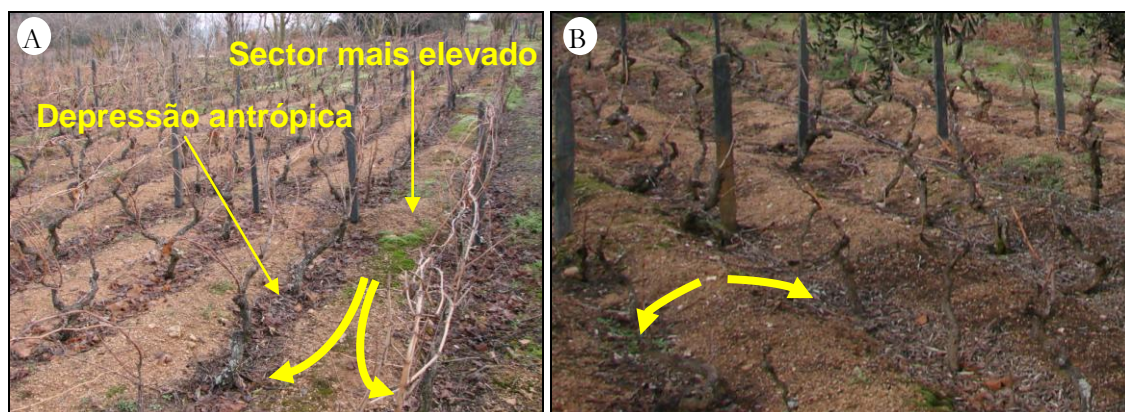


Figura 5.7. Sentido de deslocação dos sedimentos em áreas ocupadas por vinhas com diferentes concordâncias entre o alinhamento das videiras plantadas e o sentido de inclinação da vertente.

Correspondendo a Figura 5.7-A a uma vinha plantada no sentido de inclinação da vertente e a Figura 5.7-B a uma vinha plantada perpendicularmente a este seguindo a inclinação da mesma vertente.

Estas depressões antrópicas proporcionam a retenção dos sedimentos movidos pela escorrência superficial e a acumulação de restos vegetais, o que traduz o elevado teor de MO nestas áreas. No entanto, a disposição da vinha face à inclinação da vertente (paralela ou perpendicular) tem influência na deslocação dos sedimentos.

Na vinha com disposição paralela, a escorrência faz-se no sentido da inclinação da vertente proporcionando maior concentração de água nos sulcos artificiais feitos no mesmo sentido de inclinação da vertente, sendo este um factor que proporciona o aumento do caudal no sector jusante dos mesmos e, também, o aumento do poder de transporte de carga sólida. Os sedimentos presentes nos sectores mais elevados entre estas depressões percorrem distâncias significativas ao longo destas secções, devido ao sentido do escorrência superficial, condicionando-se assim o transporte destes para a depressão e a sua deposição neste sector mais elevado. Esta constatação deriva da observação da acumulação de sedimentos junto à estaca EE, registando-se aqui valores muito reduzidos de erosão hídrica. Nos dados observados junto à estaca A1, verifica-se a acumulação de sedimentos neste sector mais elevado, comprova a influência das práticas agrícolas na remoção e transporte dos sedimentos.

Já na vinha com disposição perpendicular, a deslocação dos sedimentos é relativamente mais curta face à anterior, funcionando os sulcos antrópicos como “degraus” à movimentação da água, formas que proporcionam a sua retenção e, também, dos sedimentos transportados. Foi nas áreas ocupadas por este tipo de disposição da vinha que se registou maior erosão através da monitorização pelo método das estacas (estaca EC), havendo nestas elevada quantidade de sedimentos removidos em função do curto percurso percorrido até à depressão. Nestas áreas é possível identificar algumas formas resultantes da escorrência difusa como, por exemplo, pequenos sulcos alinhados no sentido da depressão (sector jusante) onde se acumulam os sedimentos (Fig. 5.8). Estes fluxos, quando amplificados pelo constante impacto das gotas de chuva, tornam-se mais eficientes, um processo que aumenta a capacidade de transporte pela turbulência gerada.

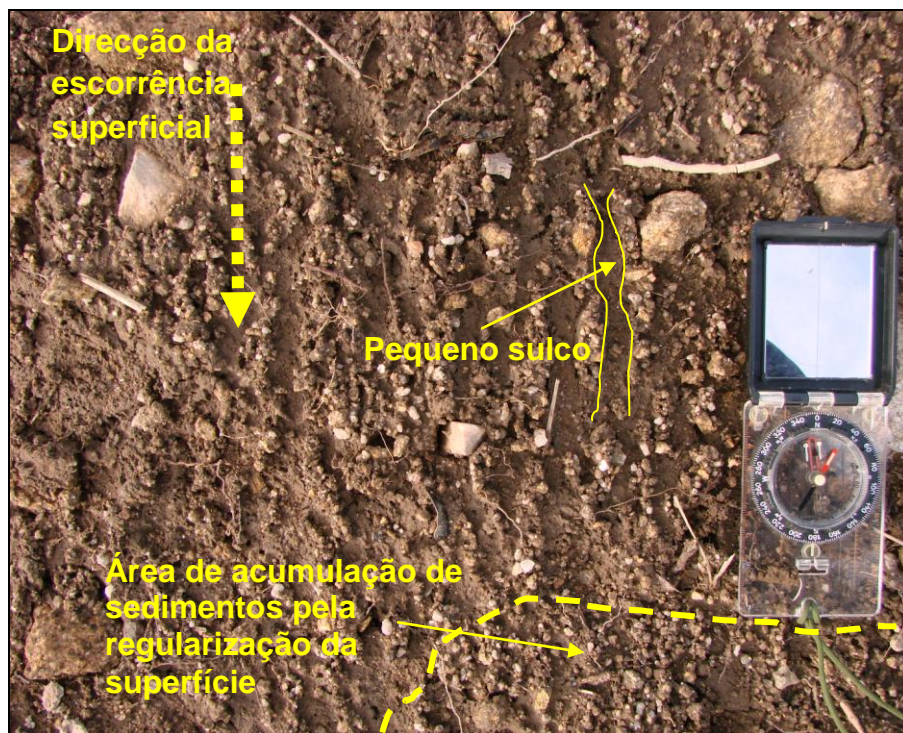


Figura 5.8. Formas resultantes da escorrência difusa.

5. 2. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE EROÇÃO POTENCIAL E REAL OBTIDOS PELA EUPS COM A EROÇÃO VERIFICADA JUNTO DAS ESTACAS

Neste ponto pretende-se apenas comparar alguns dos resultados da erosão hídrica potencial e real obtidos pelo modelo EUPS (perda de solo anual) e os resultados de erosão hídrica obtidos nas estacas no período de monitorização (cerca de meio ano).

Nos pixéis onde se localizam as estacas observa-se que a erosão real ou específica (EUPS) e a erosão potencial variam no mesmo sentido, ou seja quanto mais elevada é a erosão real maior a erosão potencial e vice-versa ($R^2=0,90$). No entanto, os valores da erosão real são muito reduzidos face à erosão potencial, demonstrando a importância da implementação dos factores cobertura do solo e prática agrícola (C e P) na determinação real da perda de solo. De todos os pixéis analisados, destaca-se as áreas ocupadas por pinhal com valores mais elevados de perda de solo (erosão potencial e real), conforme se pode observar na Figura 5.9 (pixel onde se localiza a estaca F4), resultados contraditórios aos obtidos nas medições de erosão (rebaixamento) junto às estacas explicado anteriormente.

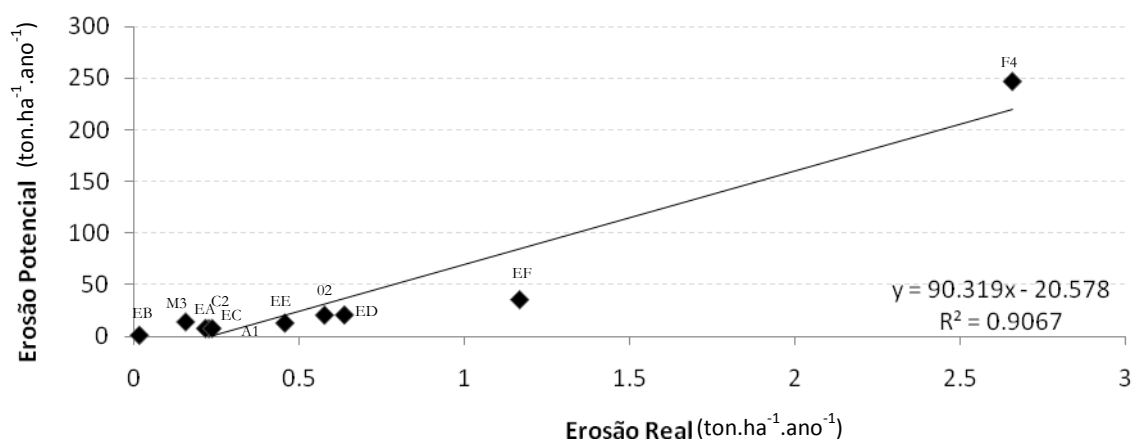


Figura 5.9. Relação entre a erosão potencial e a erosão real (EUPS) nos pixéis onde se localizaram as estacas.

Para a comparação entre os resultados obtidos pelo cálculo da erosão real e potencial com os resultados obtidos nas estacas considerou-se os valores dos pixéis na localização de cada estaca nas duas vertentes (exposição a SE e NW). Não se considerou os resultados obtidos junto da estaca A1 por não se ter registado erosão junto da mesma, apenas acumulação de sedimentos.

Entre as duas vertentes os resultados entre a erosão potencial e real são distintos, divergência que se reflecte também nos resultados das estacas. Na vertente exposta a SE os valores de erosão potencial e real são superiores aos da vertente exposta a NW, apresentando a primeira a erosão potencial média de $71,88 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e erosão real média de $0,91 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no conjunto de valores dos pixéis onde se localizam as estacas, enquanto a segunda apresenta os valores médios de 13,83 e $0,46 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, respectivamente. Quanto aos valores de rebaixamento junto das estacas, a primeira vertente destaca-se com o valor médio de 0,76cm, face à segunda com o valor médio de 0,60cm. Considerando as áreas agrícolas (intervenção antrópica) e as áreas sem intervenção antrópica (floresta e inculto) na vertente SE (estacas O2, C2 e M3, F4, respectivamente), verifica-se maior erosão nos solos das primeiras áreas (rebaixamento médio de 0,81cm) face às segundas (rebaixamento médio de 0,71cm), dados que evidenciam a influência das actividades agrícolas e a ocupação do solo na erosão hídrica do solo.

Embora se tenha poucas observações pontuais sobre a erosão hídrica obtida pela medição do rebaixamento junto a cada estaca, fez-se a comparação com os valores dos pixéis dos mapas de erosão hídrica real e potencial onde se localizaram estas estacas, para tentar perceber os resultados obtidos pelo modelo EUPS nestes locais.

A relação entre os dois tipos de dados está representada no Quadro 5.3, onde se pode observar que os valores do conjunto da erosão potencial e do conjunto da erosão real da vertente exposta a SE têm variam contrariamente aos valores do conjunto de rebaixamento verificados junto das estacas desta vertente. Este resultado indica que os aumentos desta última variável correspondem a diminuições dos valores nos dois tipos de erosão obtidos pelo modelo EUPS ou vice-versa. Os resultados deste modelo têm elevada correspondência com os declives derivados do MNE e não têm

em conta a regularização das vertentes por patamares antrópicos (áreas com menor declive), facto que pode explicar a divergência nos resultados obtidos nesta vertente.

Quanto à vertente exposta a NW, observa-se alguma semelhança na variação dos resultados obtidos pelo modelo EUPS com os resultados obtidos pelas estacas, observando-se a existência de um ligeiro aumento da erosão potencial e real à medida que há mais rebaixamento, ou seja, erosão hídrica no local da estaca. Nesta vertente não há patamares e os declives derivados do MNE são mais semelhantes aos da vertente.

Quadro 5.3. Erosão potencial e real obtida nos pixéis onde se localizam as estacas e os respectivos valores de rebaixamento (erosão hídrica) observados junto das mesmas.

	Estacas	Erosão potencial (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Erosão real (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Rebaixamento registado nas estacas a 30 Maio (cm)
Vertente exposta a SE	O2	20,18	0,58	0,70
	C2	7,14	0,23	0,91
	M3	13,58	0,16	0,83
	F4	246,60	2,66	0,58
Vertente exposta a NW	EA	7,22	0,22	0,28
	EB	0,65	0,02	0,67
	EC	7,21	0,24	1,06
	ED	20,27	0,64	0,63
	EE	12,50	0,46	0,10
	EF	35,10	1,17	0,88

Face às variações observadas entre os vários resultados, calculou-se novamente a erosão hídrica potencial e real a partir do modelo EUPS para estas duas vertentes, mas com a alteração do factor LS, para perceber qual a influência deste factor nos resultados obtidos. Nesta alteração, considerou-se no parâmetro comprimento da vertente o comprimento das áreas onde se instalou as estacas sem variação de declive (disposição em socacos de grandes dimensões quase planos), servindo os ortofotomapas, curvas de nível e pontos cotados recolhidos no terreno por GPS (com correcção diferencial), de suporte na determinação deste comprimento a partir dos SIG. Os declives destas áreas derivaram de um novo MNE elaborado com base na altimetria (equidistância de 5m) e nestes pontos recolhidos por GPS.

Com o novo MNE observa-se nestas duas vertentes fortes diferenças entre as altitudes obtidas (valores atribuídos aos pixéis) em comparação com as altitudes do MNE gerado somente com as curvas de nível (equidistância de 5m), pontos cotados cedidos pela CMT e com os pontos críticos gerados para todo o concelho (Fig. 5.10). Os declives derivados deste novo modelo são em média inferiores aos declives gerados a partir do primeiro modelo, verificando-se maior redução no sector montante da vertente NW e no sector jusante da vertente exposta a SE. Nesta última vertente também se observou um ligeiro aumento do declive no seu sector montante, onde se localiza a estaca F4.

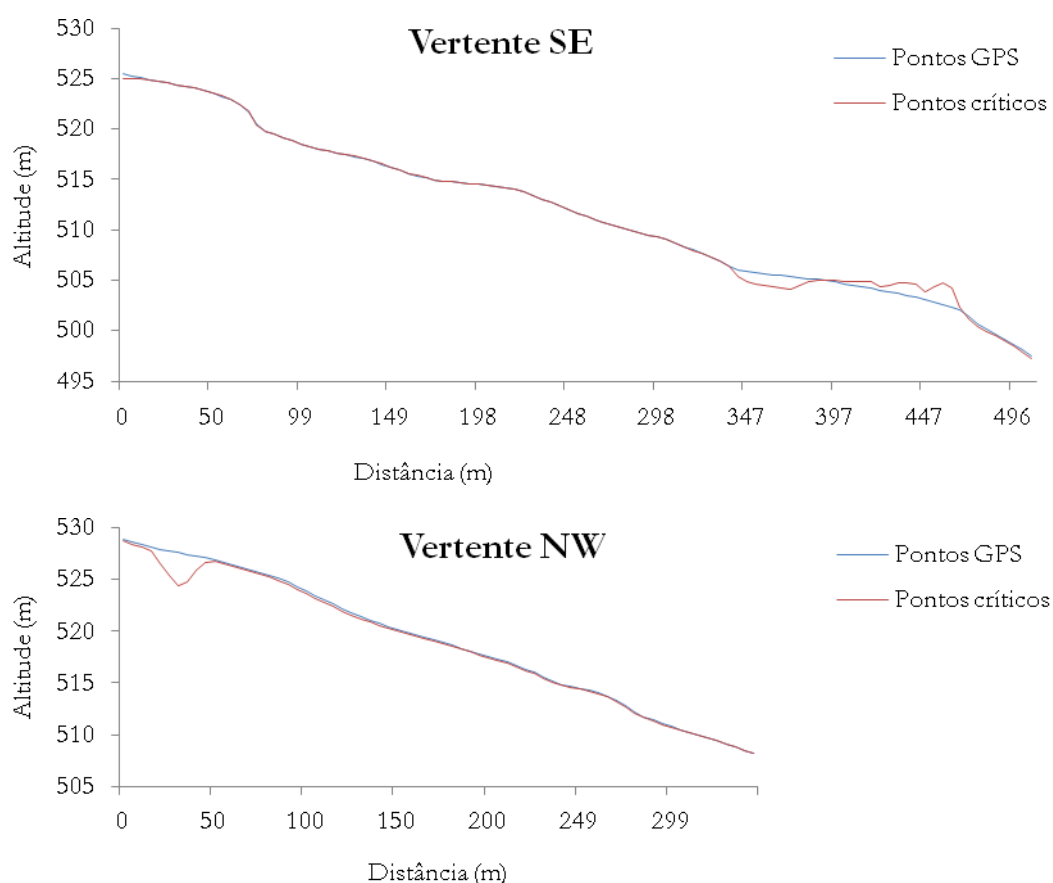


Figura 5.10. Diferenças entre perfis topográficos obtidos a partir de dois MNE construídos com diferentes tipos de informação espacial nas vertentes onde se monitorizou a erosão hídrica por estacas. Um perfil foi obtido a partir de um MNE elaborado com curvas de nível e pontos críticos, e o outro, elaborado a partir de um MNE construído com curvas de nível e pontos cotados recolhidos no campo por GPS.

Com o novo cálculo do factor LS, efectuou-se novamente o cálculo da erosão potencial e real para estas duas vertentes pelo modelo EUPS, obtendo-se na vertente exposta a SW resultados com maior relação com a erosão observada a partir das estacas. No entanto, os resultados obtidos pelo modelo na vertente exposta a SE, continuam a apresentar elevada dicotomia com os valores de rebaixamento observados das estacas desta vertente (Quadro 5.4), não havendo correspondência entre os resultados da EUPS com os resultados obtidos por este último método.

Quadro 5.4. Relação entre a erosão potencial e real obtida pela combinação do factores da EUPS, considerando o factor LS calculado com base nos declives derivados do MNE construído com curvas de nível e pontos cotados obtidos por GPS e o rebaixamento observado junto a cada estaca (erosão hídrica).

	Estacas	Erosão Potencial (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Erosão real (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Rebaixamento registado nas estacas a 30 Maio (cm)
Vertente exposta a SE	O2	338,13	30,160	0,70
	C2	31,69	1,122	0,91
	M3	0,01	0,010	0,83
	F4	1227,39	293,200	0,58
Vertente exposta a NW	EA	28,55	0,985	0,28
	EB	0,01	0,001	0,67
	EC	449,32	16,822	1,06
	ED	695,38	68,410	0,63
	EE	39,06	1,609	0,10
	EF	1023,61	105,871	0,88

No pixel da estaca F4 verifica-se sempre nos resultados da EUPS valores elevados de perda de solo, valor associado ao valor elevado do factor topográfico aqui registado. Porém, este solo está ocupado por pinhal e arbustos, com a sua superfície coberta por musgos e líquenes, verificando-se na constituição física deste solo elevado teor de MO, factores que proporcionam a redução da erosão hídrica, como se observou pelos resultados obtidos pelo método dos quadrados pintados e pelo método das estacas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O recurso aos SIG permitiu a recolha e tratamento de informação espacial, nomeadamente, a elaboração de modelos numéricos de elevação, do qual resultaram as variáveis “declive”, “comprimento das vertentes” e “exposição das vertentes”, possibilitando o cálculo de vários factores da EUPS e a sua combinação no final, do qual resultou a tradução espacial dos índices de erosão hídrica. Neste contexto, reconhece-se a importância desta ferramenta na avaliação da erosão hídrica e responde-se à pergunta n.º 1 colocada inicialmente.

A DR também se evidencia pela possibilidade de recolha de informação na superfície da Terra, muito útil na determinação da ocupação do solo. Neste caso, foi fundamental na avaliação dos índices de vegetação na área de estudo e na determinação das áreas com maior variação de vegetação entre o mínimo e o máximo vegetativo. Este tipo de ocupação é muito importante na redução da erosão hídrica, ao proporcionar a protecção do solo. Porém, a aquisição da informação recolhida pelos satélites requer elevados investimentos, considerando-se uma limitação na utilização desta ferramenta. Com esta abordagem responde-se à pergunta n.º 2.

A avaliação da erosão hídrica potencial e real do Concelho de Tarouca foi realizada a partir dos resultados obtidos pela EUPS, na qual se considerou os factores erosividade, erodibilidade, topográfico, coberto do solo e prática agrícola. Na área considerada verificou-se forte relação entre o primeiro factor com a variável altitude, destacando-se a Serra de Santa Helena com os valores de R mais elevados; relação também verificada com o segundo factor correspondendo estas áreas com os valores de K elevados a solos de reduzido teor em MO, elevada percentagem de sedimentos grosseiros e reduzido coberto vegetal. Quanto ao factor topográfico, as vertentes desta serra expostas a NE e do sector jusante do Vale do Varosa sobressaem ao apresentar os valores mais elevados, resultado derivado do forte declive destas áreas e do comprimento destas vertentes. Já no coberto do solo destacam-se as áreas agrícolas com reduzido coberto vegetal, o que lhes atribui valores elevados, destacando-se as áreas xistentas de Várzea da Serra, Vale da Ribeira de Tarouca e do

Varosa. A implementação do índice VB permitiu diferenciar as áreas com maiores valores do factor C obtidos pelos dados da COS'90 e CLC'06 e alterar os limites rígidos impostos por esta cartografia que serviu de base à implementação dos valores obtidos. Por último, a distribuição espacial do factor prática agrícola é muito semelhante à do factor referido anteriormente, isto é, as mesmas áreas com os valores mais elevados.

A susceptibilidade à erosão hídrica potencial obtida pela combinação dos factores R, K e LS é muito elevada na serra referida anteriormente, na Freguesia de São João de Tarouca e nas vertentes do Monte Raso, em oposição as áreas mais planas de Várzea da Serra, Tarouca, Dalvares e Granja Nova, com susceptibilidade reduzida. Estes resultados têm forte coincidência com o factor LS, o que traduz a elevada influência da topografia na perda potencial de solo por erosão hídrica. Com esta determinação responde-se à pergunta n.º 3.

Quanto à erosão real, os valores de perda de solo anual são bastante inferiores aos obtidos na erosão potencial, destacam-se os valores mais elevados nas vertentes do Monte Raso ocupadas por olivais, as áreas agrícolas de Mondim da Beira, ocupadas com culturas ao longo das curvas de nível em vertentes com declive acentuado e as áreas agrícolas a E de Tarouca, com as mesmas características das anteriores. Pelo reconhecimento das áreas com índice de erosão hídrica real mais elevado responde-se à pergunta n.º4.

No entanto, os resultados obtidos pelo modelo EUPS apresentaram variações em relação à erosão que se verificou pela monitorização pontual da erosão hídrica real através de quadrados pintados e estacas graduadas. Esta variação deve-se aos factores que o integram o modelo, particularmente o factor topográfico, ao não considerar vertentes com declive regularizado devido a incorrecções topográficas geradas pelo MNE, em função dos dados que lhe deram origem e ao peso que este tem nos resultados finais obtidos pela EUPS. Esta observação traduz a divergência encontrada entre a erosão hídrica real e potencial no local onde se efectuou a monitorização real da erosão hídrica pelos métodos referidos. Pelos resultados desta monitorização foi possível verificar a influência do uso e ocupação do solo na quantidade de sedimentos removidos através da erosão hídrica, verificando-se que nas áreas agrícolas a erosão é superior face às áreas de mato e floresta, havendo nestas áreas, variação da erosão

em função do manejo e da disposição das culturas ao longo da vertente. No conjunto das áreas monitorizadas com intervenção antrópica destacam-se as áreas de vinha e de culturas de cereais com maior erosão hídrica, resultados derivados da reduzida cobertura do solo durante um vasto período ao longo do ano. Por estas observações responde-se à pergunta n.º 5.

Para uma comparação mais fidedigna dos resultados obtidos pelo modelo EUPS com a erosão que ocorre efectivamente o Concelho de Tarouca seria necessário efectuar a monitorização em toda a sua área, considerando os vários factores físicos do território, usos do solo, entre outros. Este era um dos objectivos iniciais, posto de parte, devido à vasta área em análise e ao tempo disponível para a realização de trabalho de campo, optando-se apenas pela monitorização pontual nas duas vertentes referidas, resultados que não permitem estabelecer uma relação entre a realidade do concelho (erosão hídrica) e os resultados da EUPS. Em trabalhos futuros seria ideal fazer esta avaliação e comparar com os resultados apresentados nesta dissertação, relevando-se importante nessa avaliação, a instalação de uma estação meteorológica na área de estudo que permita a obtenção de dados de precipitação (dados indispensáveis neste tipo de trabalhos).

Também seria interessante aplicar estas metodologias à escala da bacia hidrográfica do Rio Varosa, ou sub-bacias, para perceber quais as áreas com maior susceptibilidade à erosão hídrica, considerando todos os factores intervenientes neste processo. Uma vez que o modelo EUPS não prevê a deposição de partículas de solo nas vertentes, considerando estas áreas, seria possível determinar a entrega de sedimentos nas linhas de água.

BIBLIOGRAFIA

- ALCOFORADO, M. & DIAS, M. (1993) – *Imagens climáticas da região de Lisboa*. Enquadramento na Diversidade Climática de Portugal Continental. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.
- ALCOFORADO, M.; ALEGRIA, M.; PEREIRA, A. & SIRGADO, C. (1993) – *Domínios Bioclimáticos em Portugal definidos por comparação dos índices de Gaussen e de Emberger*. Centro de Estudos Geográficos, Linha de Acção de Geografia Física, Relatório N.º 33, Lisboa.
- ARBESTAIN, M.; MACÍAS, F. & CHESWORTH, W. (2008) – Soil. *Encyclopedia of Soil Science*. Encyclopedia of Earth Sciences Series, Vol. XXVI, version online.
- AREKHI, S.; NIAZI, Y. & AMIRI, F. (2010) – Spatial Distribution of Soil Loss and Sediment Yield Based on SATEEC GIS System and Remote Sensing (Case Study, Ilam Dam Watershed-Lower Part, Iran). *World Applied Sciences Journal*, Vol. 9, N.º 8, pp. 860-872.
- ARH (2002) - Análise do Risco de Erosão e Assoreamento. *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Mondego*, Anexo 12. Administração da Região Hidrográfica do Centro IP. [Acedido em 03 de Março de 2011]. <http://www.arhcentro.pt/website/LinkClick.aspx?fileticket=agfrphea/xA=&tabid=285>
- ASIS, A. & OMASSA, K. (2007) - Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear Spectral Mixture Analysis of Landsat ETM data. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 62, Japan, pp. 309–324.
- BABAN, S. & YUSO, K. (2001) - Modelling soil erosion in tropical environments using remote sensing and geographical information systems. *Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques*, Cap. 46 (2). [Acedido em 26 de Outubro de 2010]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.106.6810&rep=rep1&type=pdf>
- BALLANTYNE, C. & HARRIS, C. (1994) - *The Periglaciation of Great Britain*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 330.
- BATEIRA, C.; SOARES, L.; SILVÉRIO, M. & PEDROSA, A. (2001) – Processos erosivos no Norte de Portugal: definição de áreas de risco. Apresentação e discussão dos resultados preliminares. *Metodologias de Estudo de Processos de Erosão dos Solos*, Porto, pp.135-152.
- BELWARD, A. & VALENZUELA, C. (1990) – Spectral characteristics of vegetation, soil and water in the visible, near-infrared and middle-infrared wavelengths. *Remote sensing and Geographical Information Systems for resource management in developing countries*, Remote Sensing, Vol. 1, Kluwer Academic Publishers, pp. 31-53.

- BERMÚDEZ, F.; RUIZ, J.; DIAZ, M.; FLÁNO, P.; FERNANDEZ, J. & LASANTA, T. (1993) – *Medidas de flujos de agua y sedimentos en parcelas experimentales*. Cuadernos Técnicos de la SEC, N.º 6, Sociedad Española de Geomorfología, Geoforma Ediciones, España.
- BERNER, R. & KOTHAVALA, Z. (2001) - GEOCARBIII: a revised model of atmospheric CO₂ over Phanerozoic time. *American Journal Science*, Vol. 301, pp. 182–204.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (1990) – *Conservação do Solo*. Icone Editora, São Paulo.
- BIROT, P. (1975) – Portugal. *Livros horizonte*, Lisboa, pp. 3-16.
- BONE, J.; HEAD, M.; BARRACLOUGH, D.; ARCHER, M.; SCHEIB, C.; FLIGHT, D. & VOULVOULIS, N. (2010) - Soil quality assessment under emerging regulatory requirement. *Environment International*, Vol.104, Ed. 3, pp. 523-534.
- BRADY, N. & WEIL, R. (2008) - *The nature and properties of soils*. 14ª Editing; Upper Saddle River, NJ, USA, Prentice Hall.
- BRILHA, J. & SÁ, A. (2007) – *O solo – pele da Terra*. Prospecto relativo a um tema-chave do Ano Internacional do Planeta Terra 2007- 2009, Planeta Terra Ciências da Terra para a sociedade. [Acedido em 22 de Março de 2011]. http://yearofplanetearth.org/content/downloads/portugal/brochura10_web.pdf
- BRINKMAN, R. (1964) – *Geologia Geral*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, pp. 106-116.
- CARDOSO, J. (1968) – *Os solos de Portugal, sua classificação, caracterização e géneses – A Sul do Rio Tejo*. Direcção geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.
- CARRÃO, H.; CAETANO, M.; FREIRE, S. & NUNES, A. (2002) - *Carta de Ocupação do Solo e Avaliação do Estado da Vegetação com Imagens de Satélite para Prevenção de Fogos Florestais*. Instituto Geográfico Português. [Acedido em 30 de Novembro de 2010]. <http://www.igeo.pt/gdr/pdf/Carrao2002a.pdf>
- CEU (2009) - *Proposal for a directive of the European Parliament and of the council establishing a framework for the protection of soil–political agreement - Presidency proposal*. Brussels, Belgium: Council of the European Union, P. 6. [Acedido em 30 de Dezembro de 2010]. http://www.ecaf.org/docs/aposolo/Proposal_Soil_Framework_Directive.pdf
- CLARK, M. & SMALL, J. (1982) - *Slopes and Weathering*. Cambridge: Cambridge University Press.
- COHEN, M. & MERING, C. (2004) - Geographic information system and spatial effect. *Cybergeog: European Journal of Geography*, 12th European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography, St-Valery-en-Caux, France. [Acedido em 26 de Outubro de 2010]. <http://cybergeog.revues.org/index3616.html>
- COURTNEY, F. & TRUDGILL, S. (1984) – *The Soil – An introduction to soil study*. Second Edition, London, pp. 1-117.

- COUTINHO, M.; ÁLVARES, M. & PIMENTA, M. (1993) – *Erosão hídrica e sedimentação em albufeiras da bacia hidrográfica do rio Guadiana*. 1º Relatório interno. INAG, Lisboa: IST, UTL.
- CT DEP (2002) - *2002 Connecticut Guidelines for Soil Erosion and Sediment Control*. Depconnecticut Department of Environmental Protection, Hartford, CT. [Acedido em 11 de Setembro de 2010]. http://www.ct.gov/dep/lib/dep/water_inland/sesc/sesc_intro_toc.pdf
- CYR, L.; BONN, F. & PESANT, A. (1995) - Vegetation indices derived from remote sensing for an estimation of soil protection against water erosion. *Ecological Modelling*, Vol. 79, pp. 277-285.
- DANG, M. (2007) - *Quantitative and qualitative soil quality assessments of tea enterprises in Northern Vietnam*. African Journal of Agricultural Research, Vol. 2, Issue 9, pp. 455-462.
- DAVEAU, S. & COLABORADORES (1985) - *Mapas Climáticos de Portugal. Nevoeiro e Nebulosidade. Contrastes Térmicos*. Centro de Estudos Geográficos, Memória N.º 7, Lisboa.
- DERCOURT, J. & PAQUET, J. (1986) – *Geologia objectos e métodos*. Tradução de Reis, R.; Livraria Almedina, Coimbra, pp. 167-175.
- DIAS, J. (2004) – Análise granulométrica. *A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos*. Uma Introdução à Oceanografia Geológica, Versão preliminar: 10-27. [Acedido em 02 de Abril de 2011]. http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks/Sedim/SedimB_AG.pdf
- DYMOND, J.; BÉGUE, A. & LOSEEN, D. (2001) - Monitoring land at regional and national scales and the role of remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 3, Ed. 2, pp. 162-175.
- DYMOND, J.; BETTS, H. & SCHIERLITZ, C. (2010) - An erosion model for evaluating regional land-use scenarios. *Environmental Modelling & Software*, Vol. 25, Ed. 3, New Zealand, pp. 289–298.
- EASTMAN, J. (2006) - Guide to GIS and Image Processing. *IDRISI Andes*, Manual version 15.00, Clark University, Worcester, USA: 275-280.
- ELLIS, S. & MELLOR, A. (1995) - *Soils and Environment*. Routledge Publication, London, UK.
- ELWELL, H. & STOCKING, M. (1976) - Vegetal cover to estimate soil erosion hazard. *Rhodesia, Geoderma*, N.º 15, pp. 61–70.
- CHESWORTH, W. (2008) - *Encyclopedia of Soil Science*. Encyclopedia of Earth Sciences Series, edited by Ward Chesworth, University of Guelph, Canada.
- ENGEL, B. (1999) – *Estimating Soil Erosion RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) Using Arcview*. Purdue University. [Acedido em 02 de Outubro de 2010]. http://intranet.catie.ac.cr/intranet/posgrado/Hidro2006/trabajo_final/documentos/erosion_usle/estimacion_erosion_rusle_arcview.pdf
- ERPUL, G.; NORTON, L. & GABRIELS, D. (2002) - Raindrop-induced and wind-driven soil particle transport. *Catena*, Vol.47, Ed. 3, pp. 227-243.

- ERPUL, G.; NORTON, L. & GABRIELS, D. (2004) - Splash-saltation trajectories of soil particles under wind-driven rain. *Geomorphology*, Vol. 59, Ed. 1-4, pp. 31-42.
- FAVAS, P. (2008) - *Biogeoquímica em áreas mineiras estano-volfrâmicas*. Dissertação de Doutoramento apresentada à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, pp. 9-72.
- FERREIRA, A. & FERREIRA, D. (2004) – Aspectos Gerais. *O Relevo de Portugal. Grandes Unidades Regionais*, Cap. 1, Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Coimbra, pp. 9-19.
- FERREIRA, A. (2005) – *A erosão do solo*. Geografia de Portugal 1, O Ambiente Físico; Círculo de Leitores, Rio de Mouro, pp. 208-216.
- FERREIRA, A. M. (2000) - *Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Factores de Variação Regional*. Dissertação de doutoramento em Geociências apresentada à Universidade de Aveiro. Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro.
- FERREIRA, N. & SOUSA, M. (1994) – *Notícia Explicativa da Folha 14-B – Moimenta da Beira*. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- FITZPATRIC, E. (1986) - *An Introduction to Soil Science*. Longman Scientific and Technical, London.
- FLORESTAR (2007) - *Guia Prático de Intervenção em Áreas Florestais Sensíveis aos Riscos (Risco de Incêndio, Erosão e Fitossanitário)*. Parceria de desenvolvimento do projecto “Florestar – Sustentabilidade da Floresta”. [Acedido em 20 de Maio de 2011]. http://www.forestis.pt/forestis/multimedia/File/Relatorio_Proj/Guia_Areas_Riscos.pdf
- FOSTER, G. & MEYER, L. (1977) - *Soil erosion and sedimentation by water – an overview*. Procs. National Symposium on Soil Erosion and Sedimentation by Water, American Society of Agricultural Engineering, St. Joseph, Michigan, pp. 1-13.
- FOSTER, G.; McCOOL, D.; RENARD, K. & MOLDENHAUER, W. (1981) – *Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units*. Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 36, N.º 6, pp.355-359.
- FOULDS, S. & WARBURTON, J. (2007) - Significance of wind-driven rain (wind-splash) in the erosion of blanket peat. *Geomorphology*, Vol. 83, Ed. 1-2, pp. 183-192.
- FRANZLUEBBERS, A. & HANEY, R. (2006) - *Assessing Soil Quality in Organic Agriculture*. Critical Issue Report Soil Quality, USDA Agricultural Research Service, Watkinsville, pp. 4-12.
- FULLEN, M. & CATT, J. (2004) – Soil erosion. *Encyclopedia of Geomorphology*, Vol. 2 (J-Z), International Association of Geomorphologists, pp. 977-981.
- HENRIQUES, C. (2009) – *Dinâmica de vertentes no contexto da Reserva Ecológica Nacional: o caso de estudo do concelho de Caldas da Rainha*. Tese de mestrado apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, pp. 52 – 69.

- HENRIQUES, R. (1982) – *Técnicas de detecção remota*. LNEC, Memória N.º 573, Lisboa: 35.
- IDA (1998) – Solos. *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Douro*, 1ª Fase - Análise de Diagnóstico da Situação de Referência, Anexo 1 - Análise Biofísica, Parte II (Versão Provisória), Instituto da Água, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- IDA (2001) – *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Douro*. Instituto da Água, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Relatório Final, pp. 72-76. [Acedido em 01 de Março de 2011]. http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/planeamento/pbh/pbh02_douro/7/RelFinal.pdf
- IRVEM, A.; TOPALOGLU, F. & UYGUR, V. (2007) - Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. *Journal of Hydrology*, Vol. 336, Ed. 1-2, pp. 30-37.
- JAIN, M.; MISHRA, S. & SHAH, R. (2010) - *Estimation of sediment yield and areas vulnerable to soil erosion and deposition in a Himalayan watershed using GIS*. Current Science, Vol. 98, N.º 2, pp. 213-221. [Acedido em 11 de Setembro de 2010]. <http://www.ias.ac.in/currsci/25jan2010/213.pdf>
- JAIN, S. & GOEL, M. (2002) - Assessing the vulnerability to soil erosion of the Ukai Dam catchments using remote sensing and GIS. *Hydrological Sciences – Journal des Sciences Hydrologiques*, N.º 47(1), pp. 31-40.
- JENNY, H. (1994) - *Factors of soil formation: a system of quantitative pedology*. Foreword by AMUNDSON, R., Dover Publications, Inc., New York. [Acedido em 03 de Março de 2011]. <http://202.200.144.17/sykc/hjx/content/ckzl/6/2.pdf>
- JULIAN, P. (1998) - *Erosion and sedimentation*. Cambridge University Press, Cambridge, New York: 1-54.
- KARABURUN, A. (2010) - Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed. *Ozean Journal of Applied Sciences*, Vol. 3, Ed. 1, pp. 77-84.
- KARLENA, K.; DITZLERB, G. & ANDREWSA, S. (2003) - Soil quality: why and how? *Geoderma*, Vol. 114, pp. 145– 156. [Acedido em 30 de Dezembro de 2010]. <http://ddr.nal.usda.gov/bitstream/10113/3973/1/IND43943398.pdf>
- KHEIR, R.; ABDALLAH, C. & KHAWLIE, M. (2008) - Assessing soil erosion in Mediterranean karst landscapes of Lebanon using remote sensing and GIS. *Engineering Geology*, N.º 99, Lebanon, pp. 239–254.
- KIMPE, C. & WARKENTIN, B. (1998) – *Soil functions and the future of natural resources*. Blume, H. P. Eger *et al.* Towards Sustainable Land Use: Furthering cooperation between people and institutions. Vol. 1, Advances Ecology, Ed. 31, pp. 3-20.
- KNIJIFF, J.; JONES, R. & MONTANARELLA, L. (2000) – *Soil Erosion Risk. Assessment in Europe*. Report EUR 19044 EN, Europe Soil Bureau, European Commission.
- KRYSANOVA, V.; MÜLLER-WOHLFEIL, D.; CRAMER, W. & BECKER, A. (2000) – Spatial Analysis of Soil-Moisture Deficit and Potential Soil Loss in the Elbe Drainage Basin. *Terrain Analysis: Principles and Applications*, Cap. 6, pp. 163-181.

- KUIPERS, H. (1980) – Process in physical soil degradation. *Boels*, Proceedings of the Land Use Seminar on Soil Degradation, Wageningen, pp. 7-20.
- LAL, R. & SHUKLA, M. (1998) - *Principles of soil physics*. 1st Edition, Publicado por CRC, Ohio, pp. 1-612.
- LAL, R. (1998) - Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality: Critical Review. *Plant Science*, Vol. 17, pp. 319 – 464.
- LAL, R. (2007) - Soil Carbon Sequestration through Desertification Control. *Soils, Society & Global Change*, Climate Change and Restoration of Degraded Land, European Communities, Iceland, pp. 123-129.
- LIMA, J.; JÚNIOR, N. & SANTOS, P. (2000) – *Reservoir sedimentation assessment guideline*. Hydrological Studies and Information Department, Brazilian Electricity Regulatory Agency, Brasília, pp. 5-41. [Acedido em 11 de Setembro de 2010]. http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Guia_ava_engl.pdf
- LIMA, J.; DIJK, P. & SPAAN, W. (1992) - Splash-saltation transport under wind-driven rain. *Soil Technology*, Vol. 5, Ed. 2, pp. 151-166.
- LOPES, A. (2003) – *Climatologia e Detecção Remota*. Modificações no Clima de Lisboa como Consequência do Crescimento Urbano. Vento, Ilha de Calor de Superfície e Balanço Energética. Dissertação de Doutoramento apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Cap. 7, Lisboa, pp. 217-239.
- LYNDEN, G. & MANTEL, S. (2001) - *The role of GIS and remote sensing in land degradation assessment and conservation mapping: some user experiences and expectations*. JAG, Vol. 3, Ed. 1, International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), Netherlands, pp. 61-68.
- LYNDEN, G.; MANTEL, S. & OOSTRUM, A. (2004) - *Guiding principles for the quantitative assessment of soil degradation. With a focus on salinization, nutrient decline and soil pollution*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- MEDEIROS, A. & FERNANDES, A. (1969) – *Notícia Explicativa da Folha 14-A – Lamego* (Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- MEUSBURGER, K.; BÄNNINGER, D. & ALEWELL, C. (2010) - Estimating vegetation parameter for soil erosion assessment in an alpine catchment by means of QuickBird imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, N.º 12, Switzerland, pp. 201–207.
- NASCIMENTO, Ú. (1974) – Solos, rocha e terrenos de transição entre solos e rocha. *Mecânica dos Solos – Conceitos Fundamentais*, Serviços de Geotecnia, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, pp. 5-13.
- OLDEN, L. (1998) – *Soil degradation: a threat to food security?* International Soil Reference and Information Centre, Report 98/01, Wageningen.
- OUTCALT, S. (1971) – An algorithm for needle ice growth. *Water Resources Research*, Vol. 7, Ed. 2, pp. 394-400.

- PEDROSA, A. & MARTINS, M. (2004) – *Precipitações extremas na Região Demarcada do Douro: consequências geo-ambientais*. Estudos & Documentos, Douro 17, pp. 207-232. [Acedido em 28 de Dezembro de 2010]. <http://web.lettras.up.pt/aspedros/Precipitações%20Extremas%20na%20Região%20Demarcada%20do%20Douro.pdf>
- PEDROSA, A.; BATEIRA, C.; SOARES, L. & SILVÉRIO, M. (2001) – Metodologia para o estudo dos ravinamentos. *Metodologias de Estudo de Processos de Erosão dos Solos*, Porto, pp. 85-98.
- PEDROSA, A.; MARTINS, M. & PEDROSA, F. (2004) – *Processos de erosão acelerada. Região Demarcada do Douro: um património em risco*. Estudos & Documentos, Douro 17, pp. 207-232. [Acedido em 28 de Dezembro de 2010]. <http://web.lettras.up.pt/aspedros/Processos%20de%20Eros%C3%A3o%20Acelerada%20na%20Regi%C3%A3o%20Demarcada%20do%20Douro.pdf>
- PEREIRA, A. (2002) – *Geografia Física e Ambiente*. Universidade Aberta, pp. 106-126.
- PEREIRA, S. (2009) – *Perigosidade a Movimentos de Vertente na Região Norte de Portugal*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- PETAN, S.; PINTO, F.; MIKO, M. & BARBOSA, J. (2010) – Modelação da erosão do solo da hidrográfica do Rio Leça, com a equação RUSLE e SIG. *Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos*, Vol. 31, N.º 1, pp. 99-110.
- PETTORELLI, N.; VIK, J.; MYSTERUD, A.; GAILLARD, J.; TUCKER, C. & STENSETH, N. (2005) - Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*, Vol. 20, N.º 9, pp. 503-509.
- PIMENTA, T. (1998) – *Caracterização da erodibilidade dos solos a Sul do Tejo*. DSRH, INAG. [Acedido em 2 de Janeiro de 2011]. http://snirh.inag.pt/snirh/download/relatorios/erodibilidade_sul_tejo.pdf
- PIMENTA, T. (1998a) – *Directrizes para a aplicação da Equação Universal de Perda dos Solos em SIG. Factor de Cultura C e Factor de erodibilidade do Solo K*. INAG/DSRH. [Acedido em 2 de Janeiro de 2011]. http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/factorC_K.pdf
- RAMOS, C. (1986) – *Tipos de Anticiclones e Ritmo Climático de Portugal*. Estudo de Climatologia, Centro de Estudos Geográficos, Linha de Acção de Geografia Física, Relatório N.º 25, Lisboa.
- RAMOS, C. (2005) - *Programa de Hidrogeografia. Linha de Investigação em Dinâmica Litoral e Fluvial*. DILIF – 3. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa. Lisboa.
- RANDLE, T.; YANG, C. & DARAIO, J. (2006) - Erosion and Reservoir Sedimentation. *Erosion and sedimentation manual*, Cap. 2, Bureau of Reclamation, Sedimentation and River Hydraulics Group Denver, Colorado, pp. 2.1-2.19.
- RENARD, K. & FREIMUND, J. (1994) – Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in revised USLE. *Journal of Hydrology*, Ed. 157, pp. 287-306.

- RENARD, K.; FOSTER, G.; WEESIES, G.; MCCOOL, D. & YODER, D. (1997) - Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture Handbook*, N.º 82, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, USA. [Acedido em 19 de Setembro de 2010]. <http://www.techtransfer.osmre.gov/nttmainsite/Library/hbmanual/rusle/ah703ch1.pdf>
- RETALLACK, G. (2003) - Soils and Global Change in the Carbon Cycle over Geological Time. *Treatise on Geochemistry*, Vol. 5, Elsevier, pp. 581-605.
- RIBEIRO, O. (1940) – Problemas morfológicos do Maciço Hispérico português. *Las Ciencias*, Vol. VI, pp. 315-336.
- ROEHL, J. (1962) – *Sediment source areas, delivery ratios and influencing morphological factors*. Symposium on land erosion, South Carolina.
- ROSGEN, D. (1994) - A classification of natural rivers. *Catena*, Vol. 22, Wildland Hydrology, U. S. Highway, pp. 169 – 199.
- ROXO, M. & CASIMIRO, P. (1996) – *Mediterranean Desertification and Land Use. Estudos sobre desertificação no Baixo Alentejo Interior – Concelho de Mértola*. [Acedido em 17 de Dezembro de 2010]. http://www.fcsh.unl.pt/docentes/pcasimiro/PDF/Revista_DGPR_N0.pdf.
- ROXO, M. (1994) – *A acção antrópica na degradação de solos. A Serra de Serpa e de Mértola*. Tese de Doutoramento apresentada à Universidade Nova de Lisboa.
- ROXO, M. (2001) – O centro experimental de erosão de Vale Formoso, Mértola. Estudos experimentais de erosão hídrica de solos. *Metodologias de Estudo de Processos de Erosão dos Solos*, Porto, pp. 32-45.
- SCHOWENGERDT, R. (2007) - *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. 3.ª edition, Arizona.
- SELBY, M. (1982) – *Hillslope materials and processes*. Oxford University Press.
- SHUKLA, M; LAL, R. & EBINGER, M. (2006) - Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil & Tillage Research*, Vol. 87, pp. 194 – 204.
- SILVA, V. (2003) – Cálculo automático do factor topográfico (LS) da EUPS, na Bacia do Rio Paracatu. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Ed. 33 (1), N.º 29, pp. 29-34.
- SILVÉRIO, M.; BATEIRA, C.; SOARES, L. & PEDROSA, A. (2001) – Metodologias de estudo dos processos de erosão hídrica dos solos. *Metodologias de Estudo de Processos de Erosão dos Solos*, Porto, pp. 118-134.
- SIMMS, A., WOODROFFE, C. & JONES, B. (2003) - Application of RUSLE for erosion management in a coastal catchment, southern NSW. *MODSIM 2003: International Congress on Modelling and Simulation*, vol. 2, Integrative Modelling of Biophysical, Social and Economic Systems for Resource Management Solutions, Australia, pp. 678-683.
- SINGH, D.; HERLIN, I.; BERROIR, J.; SILVA, E. & MEIRELLES, M. (2004) - An approach to correlate NDVI with soil colour for erosion process using NOAA/AVHRR data. *Advances in Space Research*, N.º 33, pp. 328–332.

- SOARES, L.; BATEIRA, C.; PEDROSA, A. & SILVÉRIO, M. (2001) – Processos erosivos no norte de Portugal: definição de áreas de risco. Linhas gerais de um projecto de investigação. *Metodologias de Estudo de Processos de Erosão dos Solos*, Porto, pp. 99-116.
- TEIXEIRA, C.; MEDEIROS, A. & FERNANDES, A. (1969) – *Notícia Explicativa da Folha 14-A – Lamego*. Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- TELES, G. (1996) – A Acção dos Pipkrakes na Morfogénese Actual na Serra do Gerês. *Revista Finisterra*, Vol. XXXI, N.º 61, pp. 3-28.
- TOMÁS, P. (1993) – *Erosão hídrica do solo em pequenas bacias hidrográficas: Aplicação da equação universal de perda de solo*. Lisboa.
- TOMAZONI, J.; MANTOVANI, L.; BITTENCOURT, A. & FILHO, E. (2005) – A sistematização dos factores da EUPS em SIG para a quantificação da erosão laminar na bacia do Rio Anta Gorda (PR). *Estudos Geográficos*, N.º 3 (1), Rio Claro, pp. 1-21.
- USDA (2001) – *Soil Quality Test Kit Guide*. United States Department of Agriculture, USA.
- VIEIRA, G.; MORA, C. & GOUVEIA, M. (2004) - Oblique rainfall and contemporary geomorphological dynamics (Serra da Estrela, Portugal). *Hydrological Processes*, Vol. 18, pp. 807–824.
- WASHBURN, A. (1979) - *Geocryology: a survey of periglacial processes and environments*. London: Edward Arnold, pp. 406.
- WASSON, R. (1987) – *Detection and measurement of land degradation*. Land Degradation - Problems and policies, Cap. 1.3., Physical and biological aspects of land degradation. University of Cambridge, Melbourne, Australia, pp. 49 – 70.
- WILLIAMS, J. (1975) - Sediment delivery ratios determined with sediment and runoff models. *Erosion and solid matter transport in inland waters*. IAHS-AISH, N.º 122, pp. 168-179.
- WISCHMEIER, W. & SMITH, D. (1965) - *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation*. U.S. Department of Agriculture Handbook, N.º 282, USDA, Washington.
- WISCHMEIER, W. & SMITH, D. (1978) - *Predicting rainfall erosion losses: a Guide to conservation planning*. Department of Agriculture Handbook, N.º 537, USDA, Washington.
- WYNN, T. & MOSTAGHIMI, S. (2006) - The effect of vegetation and soil type on streambank erosion. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 42, Southwestern Virginia, USA, pp. 69–82.

DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL (1992). Escala de 1:500 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

CARTA GEOLÓGICA DE PORTUGAL. Escala 1:50 000. Folhas 14-A (Lamego) e 14-B (Moimenta da Beira). Serviços Geológicos de Portugal.

CARTA NEOTECTÓNICA DE PORTUGAL (1989). Escala 1:1 000 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

<http://scrif.igeo.pt/UTAD/default.htm> - acedido em 2 de Outubro de 2010.

<http://topsoil.nserl.purdue.edu/usle/> - acedido em 28 de Setembro de 2010.

<http://www.cm-tarouca.pt/> - acedido em 10 de Outubro de 2010.

<http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/00-001.htm> - acedido em 17 de Fevereiro de 2011.

<http://www.rotaterrafria.com> - acedido em 20 de Maio de 2011.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Formas de circulação da água nas vertentes (adaptado de CLARK e SMALL, 1982).....	9
Figura 1.2. Efeitos resultantes da erosão hídrica em solos do Concelho de Tarouca....	10
Figura 1.3. Pequenos pináculos resultantes da erosão hídrica causada pelas gotas da chuva.	12
Figura 1.4. “ <i>Pipkrakes</i> ” em vertente exposta a NW na Freguesia de Gouviães.....	13
Figura 2.1. Correção do MNE através de pontos críticos.	18
Figura 2.2. Estrutura da EUPS na determinação da erosão hídrica específica.....	21
Figura 2.3. Classes de permeabilidade em relação à textura do solo (adaptado de PIMENTA, 1998).	25
Figura 2.4. Determinação do factor erodibilidade do solo (adaptado de FOSTER <i>et al.</i> , 1981).....	26
Figura 2.5. Localização das estacas e quadrados pintados na Freguesia de Gouviães usados na monitorização da erosão hídrica.....	34
Figura 2.6. Modelo da estaca metálica usada na monitorização da erosão hídrica do solo.	36
Figura 3.1. Enquadramento da área de estudo (Concelho de Tarouca).	37
Figura 3.2. Litologia da área de estudo (adaptado das Folhas 14-A e 14-B da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000).	39
Figura 3.3. Modelo Digital de Terreno do Concelho de Tarouca e área envolvente, com sobreposição da rede hidrográfica do sector montante do Rio Varosa.	41
Figura 3.4. Declives das vertentes do Concelho de Tarouca.....	42
Figura 3.5. Solos do Concelho de Tarouca (adaptado das Cartas do Solo da Região do Nordeste Transmontano (1:100 000), publicadas pelo SNIG).	45
Figura 3.6. Cobertura e ocupação do solo, adaptado da COS’90 e CLC’06.	48

Figura 3.7. Hipsometria do Concelho de Tarouca e dos concelhos envolventes, com a localização das estações meteorológicas analisadas.	51
Figura 3.8. Precipitação média mensal (1982-1996) calculada para as dez estações meteorológicas em torno da área de estudo.	52
Figura 3.9. Distribuição da precipitação por estações do ano (1982-1996).	53
Figura 3.10. Relação entre a precipitação média anual (1982-1996) e a altitude das estações meteorológicas.	54
Figura 3.11. Repartição espacial da precipitação anual no Concelho de Tarouca (1982-1996).	55
Figura 3.12. Precipitação média anual (1944-1996) registada pela estação meteorológica de Tarouca.	56
Figura 4.1. Variação espacial do NDVI no Concelho de Tarouca entre 1984, 2002, 2007 e 2010.	57
Figura 4.2. Áreas agrícolas abandonadas no N do Concelho de Tarouca, com presença de vegetação natural.	58
Figura 4.3. Cobertura das vertentes da Serra de Santa Helena.	59
Figura 4.4. Relação entre a altitude das estações meteorológicas e o factor erosividade da chuva (R).	61
Figura 4.5. Distribuição do factor erosividade (R) no Concelho de Tarouca.	62
Figura 4.6. Distribuição do factor erodibilidade (K) no Concelho de Tarouca.	65
Figura 4.7. Factor topográfico (LS).	67
Figura 4.8. Dados utilizados na determinação do Factor C final.	68
Figura 4.9. Factor de coberto do solo (C).	69
Figura 4.10. Factor prática agrícola (P).	70
Figura 4.11. Susceptibilidade à erosão hídrica potencial no Concelho de Tarouca.	72
Figura 4.12. Estimativa da erosão específica (real) em $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	74
Figura 5.1. Precipitação registada no pluviómetro instalado no campo durante o período de monitorização da erosão hídrica (01/12/2010 e 30/05/2011).	78

Figura 5.2. Variação da percentagem de MO entre a superfície do solo e em profundidade (cerca de 10 cm) nas várias áreas monitorizadas.	80
Figura 5.3. Monitorização da erosão hídrica do solo em áreas com diferentes ocupações do solo através quadrados pintados.	81
Figura 5.4. Humidade do solo em profundidade na área ocupada por pinhal (24-12-2010).	82
Figura 5.5. Erosão e acumulação de sedimentos medido junto às estacas durante o período de monitorização (início a 01/12/10). Erosão nas estacas onde se registou rebaixamento (valores negativos) e acumulação ou acreção de sedimentos nas estacas com valores positivos.	84
Figura 5.6. Estaca metálica com partículas de solo agregadas a sotavento, após um episódio de maior precipitação.	85
Figura 5.7. Sentido de deslocação dos sedimentos em áreas ocupadas por vinhas com diferentes concordâncias entre o alinhamento das videiras plantadas e o sentido de inclinação da vertente.	86
Figura 5.8. Formas resultantes da escorrência difusa.	87
Figura 5.9. Relação entre a erosão potencial e a erosão real (EUPS) nos pixéis onde se localizaram as estacas.	88
Figura 5.10. Diferenças entre perfis topográficos obtidos a partir de dois MNE construídos com diferentes tipos de informação espacial nas vertentes onde se monitorizou a erosão hídrica por estacas. Um perfil foi obtido a partir de um MNE elaborado com curvas de nível e pontos críticos, e o outro, elaborado a partir de um MNE construído com curvas de nível e pontos cotados recolhidos no campo por GPS.	91

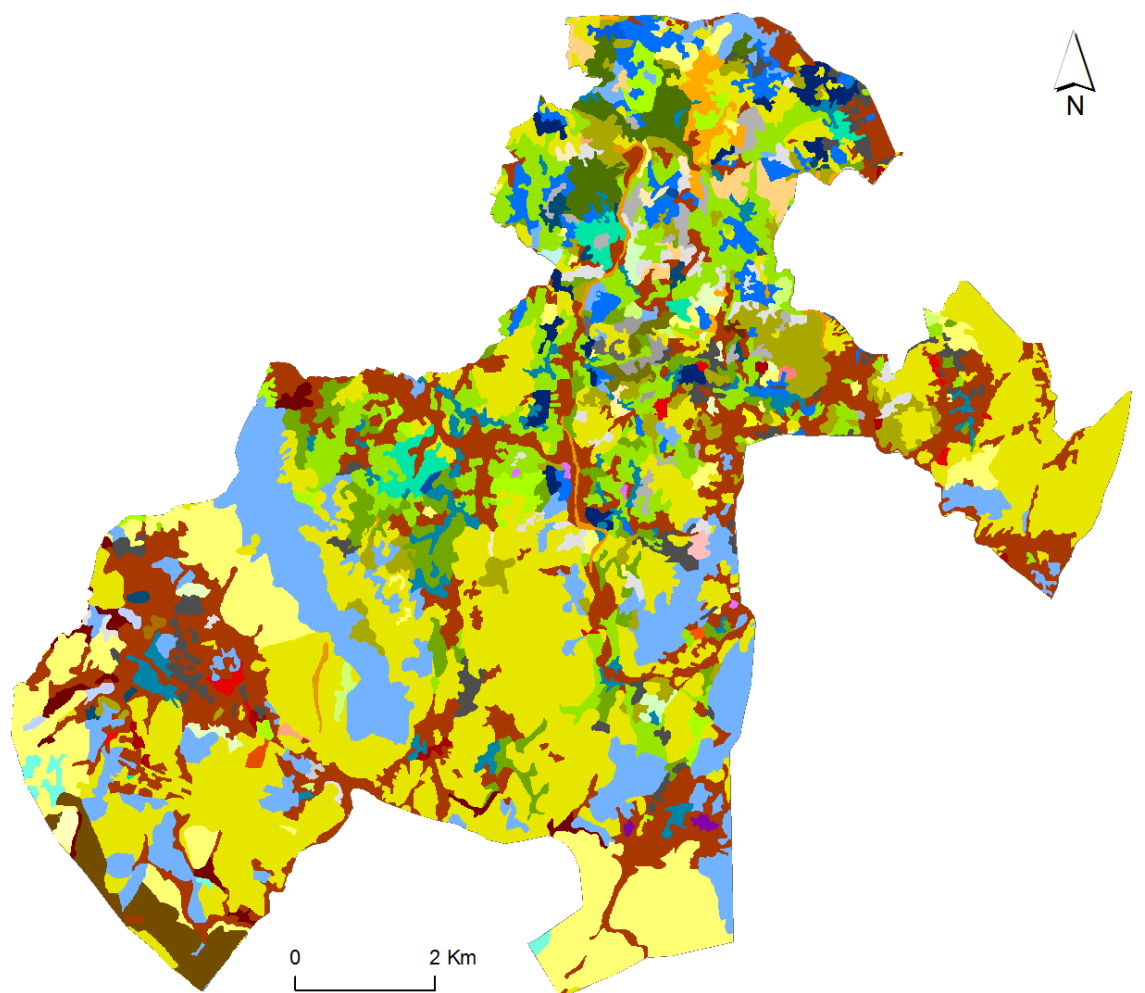
LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1. Descrição dos horizontes do solo (adaptado de IDA, 1998).	7
Quadro 2.1. Identificação das amostras de solo recolhidas nas diferentes unidades pedológicas.....	24
Quadro 2.2. Valores do coeficiente ϵ em função do declive.....	28
Quadro 2.3. Factor coberto do solo (adaptado de PIMENTA, 1998a e TOMÁS, 1993). 30	
Quadro 2.4. Valores do factor P (adaptado de WISCHMEIER e SMITH, 1978 e TOMÁS, 1993).....	32
Quadro 3.1. Descrição dos solos do Concelho de Tarouca.	45
Quadro 3.2. Agrupamento dos vários tipos de ocupação do solo apresentados na COS'90.	47
Quadro 3.3. Cobertura do solo no Concelho de Tarouca (adaptado da CLC'06).	49
Quadro 3.4. Localização das estações meteorológicas mais próximas à área de estudo e respectiva precipitação anual registada.	52
Quadro 4.1. Precipitação média anual dos anos hidrológicos entre 1944 e 1995; média mensal do índice de erosão e factor erosividade.	61
Quadro 4.2. Localização e características do local de recolha das amostras de solo....	63
Quadro 4.3. Características físicas de cada tipo de solo.	64
Quadro 4.4. Classificação da susceptibilidade à erosão hídrica potencial.....	71
Quadro 4.5. Síntese dos factores da EUPS e dos resultados da erosão potencial e real.	73
Quadro 5.1. Ocupação do solo e características dos locais seleccionados para monitorização da erosão hídrica por estacas graduadas.....	78
Quadro 5.2. Características físicas do solo nos locais onde se realizou a monitorização da erosão hídrica por estacas e quadrados pintados.	79

Quadro 5.3. Erosão potencial e real obtida nos pixéis onde se localizam as estacas e os respectivos valores de rebaixamento (erosão hídrica) observados junto das mesmas.....	90
Quadro 5.4. Relação entre a erosão potencial e real obtida pela combinação do factores da EUPS, considerando o factor LS calculado com base nos declives derivados do MNE construído com curvas de nível e pontos cotados obtidos por GPS e o rebaixamento observado junto a cada estaca (erosão hídrica)..	92

ANEXOS

1. Ocupação do solo detalhada (adaptado da COS'90).



Tipo de ocupação

Carvalho	Espécie florestal e culturas anuais	Pomar
Carvalho e outras folhosas	Eucalipto e pinheiro	Pomar e culturas anuais
Carvalho e pinheiro bravo	Olival e culturas anuais	Pomar e olival
Castanheiro bravo	Olival e olival abandonado	Pomar e vinha
Castanheiro bravo e pinheiro bravo	Olival e pomar	Rocha nua
Castanheiro manso	Outras folhosas	Sistemas culturais e parcelares complexos
Castanheiro manso e bravo	Outras folhosas e castanheiro manso	Tecido urbano
Castanheiro manso e carvalho	Outras resinosa	Vegetação arbustiva alta e carvalho
Castanheiro manso e culturas anuais	Outras resinosa e pinheiro bravo	Vegetação arbustiva alta e floresta degradada
Castanheiro manso e pinheiro bravo	Pastagens naturais pobres	Vegetação arbustiva alta e pinheiro bravo
Culturas anuais e castanheiro manso	Pastagens naturais pobres e castanheiro manso	Vinha
Culturas anuais e espécie florestal	Pinheiro bravo	Vinha e culturas anuais
Culturas anuais e olival	Pinheiro bravo e carvalho	Vinha e olival
Culturas anuais e pinheiro bravo	Pinheiro bravo e castanheiro bravo	Vinha e pomar
Culturas anuais e vinha	Pinheiro bravo e castanheiro manso	Zonas comerciais industriais e serviços
Espaços verdes	Pinheiro bravo e eucalipto	Áreas agrícolas
	Pinheiro bravo e outras folhosas	